

第13回 公開シンポジウム

# 人文科学とデータベース

—人文科学における地理情報の意味を探る—

2007年12月22日(土)

会場：奈良女子大学コラボレーションセンター

主催：第13回公開シンポジウム実行委員会

共催：奈良女子大学 21世紀 COE プログラム  
『古代日本形成の特質解明の研究教育拠点』

後援：情報処理学会関西支部・人文系データベース協議会

# 目 次

## ●自由論題報告 I

分類語彙表による歌ことばシソーラスの開発

山元啓史 (オーストラリア国立大学) …… 1

『古事記』学術支援データベースの構築—系譜の図像化とインターフェイスの検討

生田敦司\*・齋藤 晋\*・杉山正治\*\*・柴田みゆき\*・宮下晴輝\*(\*大谷大学,\*\*立命館大学) …… 9

人文系研究資料・データの構築・公開ツールと国文学資料事例の紹介

—オープンソースソフトウェア Greenstone を利用して— 北村啓子 (国文学研究資料館) …… 17

研究者のためのマイ・データベース・システムの開発

及川昭文 (総合研究大学院大学)・山元啓史 (オーストラリア国立大学) …… 25

## ●特別講演

キトラ・高松塚古墳のフォトマップ撮影と画像の保存活用

—埋蔵文化財写真でのデジタル画像とデータベース— 中村一郎 (奈良文化財研究所) …… 35

## ●共通課題報告—人文科学における地理情報の意味を探る—

ウォークスルーCG を利用した情報の可視化

木村寛之 (株式会社イビソク)、宇田 晃 (有限会社アシストコム) …… 43

WebGIS のアクセスログによる地理学的研究の可能性—バーチャル京都 3D マップを事例に

瀬戸寿一\*・桐村喬\*\*・渡辺広織\*\*\*・矢野桂司\*(\*立命館大学,\*\*立命館大学・院,\*\*\*立命館大学・学) …… 53

近畿地方における前方後円墳の分布論的検討—GIS データベース利用の試み—

出田和久 (奈良女子大学) …… 63

GIS・数理モデルによる集落分布の立地分析

石崎研二 (奈良女子大学) …… 73

## ●自由論題報告 II

透過性を持つ能装束のリアルタイム表現法

蔡 康穎・尹 新・田中弘美(立命館大学) …… 81

仏像写真の数理的彩色復元法の試論

坂田年男・竹之内和樹・能野謙介・前原一満(九州大学)・堀内隆彦(千葉大学) …… 89

文化財ローカル・ナレッジの集積と Web-GIS を基盤とした文化現象解析

津村宏臣 (同志社大学) …… 97

顔画像のフラクタル次元と好感度の関係

雄山真弓 (関西学院大学) …… 105

崇神天皇の崩年はいつ頃か—崩年モデルによる数理的検討—

小沢一雅 (大阪電気通信大学) …… 113

# 分類語彙表による歌ことばシソーラスの開発 Thesaurus of Japanese Poetic Vocabulary Based on the Semantic Classifications Chart

山元啓史

Hilofumi Yamamoto

オーストラリア国立大学

The Australian National University

Faculty of Asian Studies ANU ACT 0200 Australia

あらまし：和歌の単語は、さまざまに表記されるため、単語の検索や一括集計などの処理が困難である。この処理を確実にするためには、シソーラスによって表記を統一する必要がある。本稿では和歌の単語を国立国語研究所の分類語彙表の体系コードにならって、歌ことば用のシソーラスコード辞書およびコード変換ツールを開発した。材料は八代集の和歌、約9500首を用いた。さまざまな表記を収集するために、できる限り多くの資料を参考にした。地名、人名は分類語彙表には一部のコードしか存在しないため、新たに作成した。その結果、同形異語、異形同語の特定と類語の分類ができた。今後もシソーラスを充実させる予定である。

Summary: It is difficult to search and count words appearing in classical poems because they are written in various ways. It is necessary to transliterate words into unified codes using a thesaurus in order to solve the above mentioned problem. This paper addresses a development of the thesaurus of classical Japanese poetic vocabulary based on the *Bunruigoihyō*. The *Hachidaishū* which consists of approximately 9,500 poems is used as a material for the development. In order to collect different spellings of words in poems various texts which have been published are analysed. The thesaurus of proper names such as personal names and place names has been developed from scratch since they are not included in the *Bunruigoihyō*. The thesaurus of this project allows us to properly distinguish and classify words appearing in classical poems.

キーワード：和歌、歌ことば、単位分割、タグづけ、分類語彙表、八代集

Keywords: Japanese poetry, poetic vocabulary, tokenize, tagging, the *Bunruigoihyō*, the *Hachidaishū*

## 1 はじめに

多くの人々に使われる言語は通常方言や語族に系統があり、広い地域で使用され、多様な文化に影響を受けている<sup>1</sup>。ところが、日本語は系統として孤立し、どの語族にも属さない言語であり、使用人口第6位、1億人以上もの人々によって話される言語である(宮島他, 1982, p.15-6)しかも、1000年以上前の言語が均一な形で観察できる。古代日本語と現代日本語は「大筋」においては変わっていない。このような言語は世界の言語のうちでも珍しいといわれる(阪倉, 1977)。

古代語で記された資料のなかでも、和歌は文学作品であると同時に古代の言語や文化を知るための貴重な資料であり、とりわけ八代集は言語の変遷を通観する上ではなくてはならない、きわめて重要な資料で

<sup>1</sup> たとえば、英語は歴史ある言語の一つではあるが、およそ400年-1100年ごろに使われたと推定される古い英語(古英語)は一形式にまとめられるものではなく、時期的に前後するいくつかの方言からなっていたり、名詞には性の区別があったりなど、現代の英語とは異なる点が多い。

ある。八代集は、古今集（905年）から新古今集（1205年）までの300年間に撰集された8つの勅撰集からなり、ほぼ9500首の和歌が収められている。八代集までを一区切りとして、歌ことば、歌の題材、それらの成立および展開など、さまざまな視点から数多くの研究がなされている（辻，1998，p.226）。

ところが、八代集の史的展開の中では「千載集から新古今集にかけての時代において歌ことばの使用についての急激な変化が認められる（辻，1998，p.227）」とも、「語彙の転換期は後拾遺集あたりから（浅見，1986；上野，1976；川村，1991）」とも、「語彙論の立場から八代集の各歌集中の和歌の使用語句の性格を精査してみると『拾遺集』に転換期がある（西端，1994）」ともいわれる。転換期に関する学説がさまざまであるのは一体何が問題となっているのか。

語彙の体系は一つの平面の上にかけるものではなく、意味、形、文体などいくつかの側面の総合として存在するゆえ、各側面ごとに見ていかなければならないといわれる（宮島，1977，p.4）。特定の側面のみを切り取って体系づけると他の側面から見た場合、矛盾した結果となってしまう。意味は連続した世界であるため、その意味だけによって単語を認定しようとするとう単語でさえも規定できなくなってしまう<sup>2</sup>。語の単位の認定方法、語の出現頻度、和歌の内容が示す文化的色彩、歌風や歌題の変化、技巧、意味内容、語感の違いなど、視点によっては転換期そのもののとらえ方は一意に決定できるものではないと考えられる。

このような語彙の多彩な側面を総合的に捉え、かつ他の研究との互換性を維持するためには、研究データの管理、具体的には各作品での用語の統一・管理が不可欠になる。シソーラスは用語を体系的に管理した語彙リストであり、語彙の計量研究によく用いられている。日本語のシソーラスである国立国語研究所が開発した「分類語彙表」（中野他，1994）<sup>3</sup>はさまざまな目的で、数多くの研究で利用されている（宮島・小沼，1992；中野他，1994）<sup>4</sup>。中野（1969，p.51）は分類語彙表を用いれば「語を体系化する方法と電子計算機に入力可能な数値を得ることができる。言語処理への意味の導入が重要な問題になっている現在、我々はより充実した意味情報を得なければならない」と述べ、分類語彙表による意味の分析の可能性を示唆した。田島（1995，p.9）は、語彙は意味的存在であるとし「意味をコード化し、数値化することができれば、恐らく語彙分析に効力を発揮するであろう」と述べ、自らも分類語彙表を利用し、語彙の意味を分野別に検討し、総体論として語彙の構造を分析している。しかし「語に意味コードを付ける作業の困難さがあり、これを解決する必要がある」と述べ、コードづけ作業の困難さも指摘している。

西端他（1989）はコンピュータが個人に普及しはじめた早い時期に自らプログラムを書き、和歌の語彙索引自動作成を試みた。科学研究費の助成を得て「和歌語彙データベースの開発」「平安朝和歌の語彙論的研究」などの研究を行い、平安時代から室町時代初期までの和歌集、物語作品所収の和歌、私家集を対象としたデータベースの開発を手がけた。後者の研究では「各種分類コードの付加作業を行ったが、予想以上に作業に手間取った」旨が報告されており、ここでもコードづけの作業が大仕事であることがわかる。またコンピュータを利用して作業を進めたために、語彙の諸問題が改めて認識されることも少なくない。たとえば、土屋（1978，p.2）はコンピュータによる同語異語判別の作業に際して「カードを使った手集計の語彙調査では、この作業（同語異語判別の作業）は、カードを採る段階で、作業者の頭の中で大部分が行われてしまい、大仕事だとは意識されていない」と述べている。

本研究では、和歌の用語の統一・管理作業をできるだけ、計算機に任せ、なおかつ従来の研究成果が蓄積されるように、1）和歌のためのシソーラスコードと、2）それを和歌テキストに自動的に付けるためのツールを開発し、最終的にそれらを利用して、3）八代集のための歌ことばシソーラスを開発した。本稿では、その開発過程および問題、課題について報告する。

<sup>2</sup> 西尾（1988，p.20）は、もし1個の事物の名称は1単語であるという意味優先の基準を立てようすると、「藻塩草」の別称である「リュウグウノオトヒメノモトユイノキリハズシ」も1語になってしまうことを指摘している。

<sup>3</sup> 「分類語彙表」は1964年に国立国語研究所資料集6、林大担当として刊行された。本研究では1994年刊行のフロッピー版を用いた。

<sup>4</sup> 宮島・小沼（1992）の調査によると、136の論文で分類語彙表が利用されていることが示されている。

## 2 方法

和歌のテキストは、国文学研究資料館作成による二十一代集データベースを利用した。底本は国文学研究資料館蔵「正保版本二十一代集」である<sup>5</sup>。八代集の成立、撰者、収録和歌数を表1に示す。和歌のそれぞれには新編国歌大観準拠の歌番号をつけた。

表 1: 八代集の詳細: \*印はおよその成立年。国文学研究資料館正保版本「二十一代集」による。

歌集名	勅/院宣	成立	撰者	首
1. 古今集	醍醐天皇	*905	紀友則, 紀貫之, 凡河内躬恒, 壬生忠岑	1111
2. 後撰集	村上天皇	*951	清原元輔, 紀時文, 源順, 大中臣能宣, 坂上望城	1425
3. 拾遺集	花山院	*1007	花山院	1351
4. 後拾遺集	白河法皇	1086	藤原通俊	1218
5. 金葉集	白河院	*1124	源俊賴	712
6. 詞花集	崇徳院	*1144	藤原顕輔	415
7. 千載集	後白河院	1188	藤原俊成	1288
8. 新古今集	後鳥羽上皇	1205	源通具, 藤原有家, 藤原定家, 藤原家隆, 藤原雅経, 寂蓮	1978

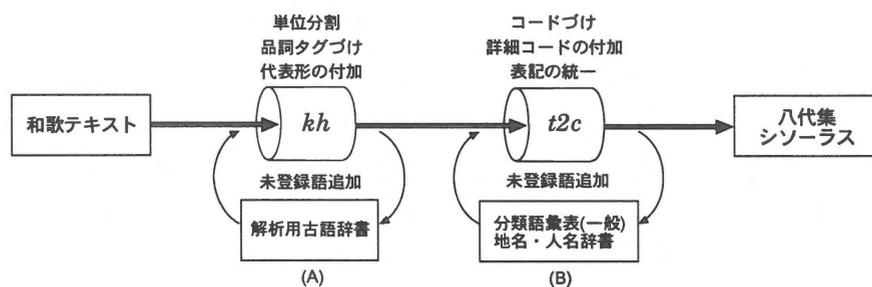


図 1: 八代集シソーラスの開発の流れ

八代集シソーラスの開発は図1に示す流れで行った。八代集の和歌テキストを 古文自動品詞タグ付けシステム kh (Kobun to Hinshi) (山元, 2007) で単位分割し、品詞情報を加える (A)<sup>6</sup>。次に、その出力を t2c (Token to Codes) で処理して、シソーラスコードを付加する (B)。kh は清濁のないテキストには対応していないため、岩波新日本古典文学大系本をはじめ、八代集関連出版書籍を参考にし、清濁を補った上で処理した。分割の単位は国立国語研究所β単位(複合語は一次結合までを認める)とした。活用のない語は注釈書などにより判断できる限り、相当する漢字列が代表形として出力する。活用のない語は基本形(いわゆる終止形)およびその漢字列を代表形として出力する<sup>7</sup>。kh で処理をする際には、未登録の語や表記の異なる語を逐一登録しつつ、解析結果が正しいかどうか、全首について確認した。

次に t2c を使ってシソーラスコードを加える。t2c は単位切りした語を入力すると分類語彙表のコードを返すプログラムである。たとえば「立田」「竜田」「龍田」は互いに異表記の同義語(異形同語)であるが、コンピュータでは別の語として扱ってしまうので、t2c でシソーラスコードをつけた上で、代表形となる表記(この場合は「立田」)をつけて用語を統一する作業をする<sup>8</sup>。本シソーラスの開発では、t2c は

<sup>5</sup> <http://ocelot.nijl.ac.jp/dlib/21dai/README-21dai.html>

<sup>6</sup> kh の詳細については山元 (2007) を参照いただきたい。

<sup>7</sup> 仮名表記は実際にどんな漢字が当てられるのが適当かわからない。たとえば、コンピュータでコードづけする際には【明く・開く・空く】(あるいは【飽く・厭く・倦く】)のいずれであるか、よくわからない。

<sup>8</sup> 異形同語の問題は日本語の検索においてしばしば問題となる。日本語の情報検索がいかに困難であるかという例として「きんのたまごをうむにわとり」をあげられる (Halpern, 2002)。おそらく「金の卵を産む鶏」が標準的な表記であろうが、「たまご(卵、玉子、たまご、タマゴ)」「にわとり(鶏、にわとり、ニワトリ、庭鳥)」「うむ(産む、生む)」などがあるので、それらを組み合わせると 24 通りの表記にもなる。

khからの出力をそのまま入力として受けとり、処理するので、できるだけ多くの情報（【漢字：よみ：品詞】の3つのデータ）を利用し、より適切な情報を辞書より探して出力するようにしている。

t2cが利用する辞書データは、一般語（BG）、地名（CH）、人名（PN）の3種類である。一般語の辞書（BG）には旧版分類語彙表（中野他，1994）の索引データを利用した。分類語彙表のコード体系は、語彙をまず品詞で「1. 体（名詞）」「2. 用（動詞）」「3. 相（形容詞・副詞）」「4. その他（接続詞・感動詞など）」の4つに分け、その下位をそれぞれを意味で「1. 抽象的關係」「2. 人間活動の主体」「3. 人間活動—精神および行為」「4. 生産物および用具」「5. 自然および自然現象」の5部門に分けている。さらに下位項目に細分した上で、具体的に実際の語を管理している。ただし、「2. 用」「3. 相」には「2. 人間活動の主体」と「4. 生産物および用具」はなく、「4. その他」には「1. 抽象的關係」「3. 人間活動—精神および行為」のみがある（犬飼，1988；田島，1999；山田，2002）<sup>9</sup>。さらに、文法的な性質を主な役割とする語（文法質）（田島，1999）も取り出して分類ができるように、上記の品詞区分1から4に加えて、田島（1999）の提案する新設コードの5から18を追加した<sup>10</sup>。本研究では、地名（CH）と人名（PN）を同時に利用するため、一般語のデータをBG（分類語彙表の略）とし、シソーラスコードの先頭に識別子としてつけた。また、旧版分類語彙表では小数点によるコード記法であったが、それを改めてすべて同じ桁数で揃えるようにした。

表 2: 一般語のコード体系：BG-01-5520 は「植物」。BG-01-5520-17 は「柑橘類」。1レコードは1行で、フィールドの区切りは'?'である。各フィールドは左より、シソーラスコード、品詞番号1、品詞番号2、品詞番号3、出現形、よみ、代表形、下位シソーラスコードとなっている。下位シソーラスコードは語をさらに分析した時に該当するコードで、'+'が区切りである。

---

BG-01-5520-17-0100:02:00:00:	きんかん:きんかん:	金柑
BG-01-5520-17-0101:02:00:00:	金柑:きんかん:	金柑
BG-01-5520-17-0200:02:00:00:	だいたい:だいたい:	橙
BG-01-5520-17-0201:02:00:00:	橙:だいたい:	橙
BG-01-5520-17-0300:02:00:00:	ゆず:ゆず:	柚
BG-01-5520-17-0301:02:00:00:	柚:ゆず:	柚
BG-01-5520-17-0400:02:00:00:	たちばな:たちばな:	橘
BG-01-5520-17-0401:02:00:00:	橘:たちばな:	橘
BG-01-5520-17-0500:02:00:00:	やぶこうじ:やぶこうじ:	藪柑子
BG-01-5520-17-0501:02:00:00:	藪柑子:やぶこうじ:	藪柑子
BG-01-5520-17-0600:02:00:00:	みかん:みかん:	蜜柑
BG-01-5520-17-0601:02:00:00:	蜜柑:みかん:	蜜柑
BG-01-5520-17-0700:02:00:00:	なつみかん:なつみかん:	夏蜜柑:BG-01-1624-03-0101+BG-01-5520-17-0600
BG-01-5520-17-0701:02:00:00:	夏蜜柑:なつみかん:	夏蜜柑:BG-01-1624-03-0101+BG-01-5520-17-0600
BG-01-5520-17-0800:02:00:00:	ザボン:ざぼん:	ザボン
BG-01-5520-17-0801:02:00:00:	朱欒:ざぼん:	ザボン
BG-01-5520-17-0900:02:00:00:	ネーブル:ねえぶる:	ネーブル
BG-01-5520-17-1000:02:00:00:	オレンジ:おれんじ:	オレンジ
BG-01-5520-17-1100:02:00:00:	レモン:れもん:	レモン
BG-01-5520-17-1101:02:00:00:	檸檬:れもん:	レモン
BG-01-5520-17-1200:02:00:00:	からたち:からたち:	枸橘
BG-01-5520-17-1201:02:00:00:	枸橘:からたち:	枸橘
BG-01-5520-17-1202:02:00:00:	枳殻:からたち:	枸橘
BG-01-5520-17-1300:02:00:00:	さんしょう:さんしょう:	山椒
BG-01-5520-17-1301:02:00:00:	山椒:さんしょう:	山椒
BG-01-5520-17-1400:02:00:00:	はなたちばな:はなたちばな:	花橘:BG-01-5530-12-0100+BG-01-5520-17-0400
BG-01-5520-17-1401:02:00:00:	花たちばな:はなたちばな:	花橘:BG-01-5530-12-0100+BG-01-5520-17-0400
BG-01-5520-17-1402:02:00:00:	花橘:はなたちばな:	花橘:BG-01-5530-12-0100+BG-01-5520-17-0400
BG-01-5520-17-1500:02:00:00:	やまたちばな:やまたちばな:	山橘:BG-01-5240-05-0100+BG-01-5520-17-0400
BG-01-5520-17-1501:02:00:00:	山たちばな:やまたちばな:	山橘:BG-01-5240-05-0100+BG-01-5520-17-0400
BG-01-5520-17-1502:02:00:00:	山橘:やまたちばな:	山橘:BG-01-5240-05-0100+BG-01-5520-17-0400

<sup>9</sup> 自然言語処理でよく用いられる日本語語彙大系 CD-ROM 版 NTT コミュニケーション科学基礎研究所 (1999) は「30万語の収録語は3000種の意味分類を用いて定義されており、最大規模の日本語シソーラスとなっています」と謳っているが、意味体系の記述は分類語彙表を踏襲している。ただし、日本語語彙大系では固有名詞が充実している。

<sup>10</sup> 田島 (1999, p.120-2) による新設コードは、5. 接頭辞、6. 接中辞、7. 接尾辞、8. 助詞、9. 助動詞、10. 補助動詞・補助形容詞、11. 関係詞、12. 語尾、13. 前置詞・介詞、14. 意味不明、15. 固有名詞 16. 記号であるが、15. 固有名詞は別に CH を作成したので、使用していない。

表2に一般語のデータ例を示す。分類語彙表には個々の語を示す番号は与えられていない。本研究では個別の語にも番号を割り振った。ただし、番号が近いことは意味が近いこととは関係ないものとした。個別の語の番号は4桁で表示し、異形同語の場合は下2桁を、別の語の場合には上2桁を変更することにした。現代語のテキストを処理することも考慮し、現代語の形態素解析システム ChaSen に用いられている品詞番号を追加した。シソーラスコードは18桁で表示される。はじめの16桁を有効桁数にすれば、異形同語と判定されたものは同語として処理できる<sup>11</sup>。

分類語彙表は現代語を前提に開発されているので、厳密には古代語のシソーラスではないが、平安末期と現代とに、ほぼ同義、かつ同形態の動詞が存在する場合は問題が小さい(犬飼, 1988, p.38(271))<sup>12</sup>。ところが、動詞も転成品詞も現代に全く生きていない場合や同形態であっても語義が大きく変化している場合は、問題が大きい(犬飼, 1988, p.38(271))。その場合には広辞苑と古語辞書を参照し、できるだけふさわしい番号が割り振られるように努めた。分類語彙表には、地名は一部だけで歌枕はほとんどなく、人名もないので、これらは新規に作成した。表3に地名と人名のデータ例を示す。

表3: 地名(CH) 吉野川と人名(PN) のデータ例: 地名・人名いずれも区切りは'。左より、シソーラスコード(CHは地名項目、29は県コード、5250は一般語(BG)の河川のコード、品詞番号1(11は地名、08は人名)、品詞番号2、品詞番号3、漢字表記、よみ、代表形、下位シソーラスコード。

CH-29-5250-01-0700:11:00:00	吉野川:よしのがは	吉野川:CH-29-0000-00-2600+BG-01-5250-01-0102
CH-29-5250-01-0701:11:00:00	吉野河:よしのがは	吉野河:CH-29-0000-00-2600+BG-01-5250-01-0103
CH-29-5250-01-0702:11:00:00	芳野河:よしのがは	芳野河:CH-29-0000-00-2604+BG-01-5250-01-0103
CH-29-5250-01-0703:11:00:00	吉野川:よしのがわ	吉野川:CH-29-0000-00-2600+BG-01-5250-01-0100
CH-29-5250-01-0704:11:00:00	吉野河:よしのがわ	吉野河:CH-29-0000-00-2600+BG-01-5250-01-0101
CH-29-5250-01-0705:11:00:00	芳野河:よしのがわ	芳野河:CH-29-0000-00-2604+BG-01-5250-01-0101
CH-29-5250-01-0706:11:00:00	吉野の河:よしののかわ	吉野の河:CH-29-0000-00+BG-01-5250-01-0101
PR-01-00UT-01-0100:08:00:00	宇多:うた:宇多	
PR-01-00UT-01-0200:08:00:00	宇多天皇:うたてんのう	宇多天皇
PR-01-KT00-01-0100:08:00:00	友則:ともりの	友則
PR-01-SH00-01-0100:08:00:00	真静:しんせい	真静
PR-01-SH00-01-0200:08:00:00	真静法師:しんせいほうし	真静法師
PR-01-HH00-02-0100:08:00:00	遍照:へんじょう	遍照
PR-01-HH00-02-0200:08:00:00	遍照法師:へんじょうほうし	遍照法師

表4: タグづけ済みの八代集シソーラス: 左より、先頭2桁は歌集の番号、次6桁は歌番号、次4桁は語番号。A00はコードを複数取るかどうかを示すフラグ、以降順に、シソーラスコード、漢字、よみ、代表形。

01 000002 0001 A00 BG-01-4240-01-0100	袖	そで	袖
01 000002 0002 A00 BG-02-5130-01-2100	漬つ	ひつ	漬つ
01 000002 0003 A00 BG-08-0064-16-0100	て	て	て
01 000002 0004 A00 BG-02-1515-08-0105	掬ぶ	むすぶ	掬ぶ
01 000002 0005 A00 BG-09-0010-04-0200	き	き	き
01 000002 0006 A00 BG-01-5130-03-0201	水	みづ	水
01 000002 0007 A00 BG-08-0061-07-0100	の	の	の
01 000002 0008 A00 BG-02-5160-01-0101	凍る	こほる	凍る
01 000002 0009 A00 BG-09-0010-03-0300	り	り	り
01 000002 0010 A00 BG-08-0061-10-0100	を	を	を
01 000002 0011 A00 BG-01-1624-02-0100	春	はる	春
01 000002 0012 A00 BG-02-1513-01-0100	立つ	たつ	立つ
01 000002 0013 A00 BG-01-1641-02-1100	今日	けふ	今日
01 000002 0014 A00 BG-08-0061-07-0100	の	の	の
01 000002 0015 A00 BG-01-5151-01-0100	風	かぜ	風
01 000002 0016 A00 BG-08-0065-14-0100	や	や	や
01 000002 0017 A00 BG-02-1550-05-0200	解く	とく	解く
01 000002 0018 A00 BG-09-0010-02-0100	らむ	らむ	らむ

<sup>11</sup> このように下2桁で異形同語を区別し、同じ番号を与えなかったのには、「形が違えば同じ語ではない」という立場・考え方があからである。

<sup>12</sup> 犬飼(1988, p.38(271)-39(270))は、その例として「例えば、「あたふ」には「与える」の分類番号2.377を与えればよい。また、「くらがる」という動詞は現代に生きていないが、名詞「くらがり」との連携等から「光」類の2.501を与えることができる」と述べている。また「厳密に処理するためには、各時代毎の「分類語彙表」を作成しなくてはならなくなる」とも述べている。

kh で単位分割品詞タグづけされたデータを t2c で処理するが、その際、該当データなしでエラーが返ってきた語については、各辞書にその不足情報を登録した。八代集データのすべてにエラーがなくなるまで繰り返し辞書登録作業を続け、その結果、一般語 48732 レコード、地名 1408 レコード、人名 49 レコード、計 50189 レコードになった。以上で八代集に見られる語とその表記は網羅された。しかし、同形異語（語の形は同じだが、文脈的に意味の異なる語。たとえば、花の「うのはな」と豆腐（おから）の「うのはな」）の問題があるため、t2c で処理しただけでは、文脈から考えてふさわしくないコードや複数に該当するコードが出力される。そこで、1 首ごと出力を確認し、不要なコードを排除した。ただし、1 つの語に複数のコードも認められることもあるので、すべての語が 1 つのコードしかないというわけではない。以上の手続きを経て、八代集シソーラスが完成した。表 4 は八代集シソーラスの例（古今集 2 番、紀貫之）である。

### 3 検索例

シソーラスで語彙調査を実施すると、(1) 異形同語であっても、同じ語として集計できる、(2) 分類カテゴリで集計でき、カテゴリ毎の比を求めることができる、さらに (3) 存在しない語やそのカテゴリを指摘することができる。特に (3) は、テキストを分割し、文字列を検索するだけではむずかしい。シソーラスとの照合作業、ある体系を持ったリストと照合しない限り、欠落したカテゴリの指摘はできない。

まず、異形同語の検索であるが、「立田」のコード「CH-29-0000-00-1800」のうち上 16 桁を検索・集計すると「立田」「竜田」「龍田」の 3 種類の抽出され、八代集中でのそれぞれの表記と頻度、立田 (54)、竜田 (5)、龍田 (4) と合わせた頻度 (63) が簡単に出力できた。つぎに分類カテゴリによる検索だが、「BG-01-5520」は植物名のカテゴリを示すコードで、これでシソーラスを検索すると、「松」をはじめ、203 種類の植物名およびその頻度を出力することができた。

最後に欠落している分類カテゴリの検索例を示す。紀貫之は古今集仮名序に「やまと歌は人の心を種としてよろづの言の葉とぞなれりける世の中にある人、事、業しげきものなれば、心に思ふことを見るもの聞くものにつけて、言ひいだせるなり」と述べている。ならば、和歌は人間のさまざまな心模様、喜怒哀楽を表現しているはずである。しかし「あの時喰ったあれは本当にうまかった」「あれをもう一度食べたい」「今年も（食物名）の季節になったのだなあ」など美食の歌がないのである。

実は、久保田 (2003, p.7) は「概して王朝文学では飲食という行為は描写の対象として軽視されている。和歌文学に至っては、食い物・飲み物それ自体が意識的に排除されている。俳諧の世界ではそのような規制はなくなり、芭蕉も蕪村も多くの食い物・飲み物の秀句を残している」と述べ、和歌において飲食物が見られないことを述べているのである。そこで、シソーラスを利用して飲食物の歌が本当にないのかどうか、確かめることを企む。検索は適切なキーワードをユーザが心得ているかどうか成功の秘訣であるが、「含まれないもの／存在しないものを探せ」という課題を遂行するためのキーワードはない。思いつくままにあらゆる食物名を検索したとしても、古語の食物名まで漏らさず検索するには限度がある。

食料は、シソーラスコードでは、BG-01-4300 から始まるが、このカテゴリには BG-01-4300 (品目名以外、おかず、常食、飼料、餌など)、BG-01-4310 (飯・そば・パン・汁など)、BG-01-4320 (米・糠・小麦粉など)、BG-01-4321 (乾物・漬物・煮物など)、BG-01-4322 (梅干・豆腐・寒天・とろろなど)、BG-01-4323 (さかな・鰹節・肉)、BG-01-4330 (調味料・麴など)、BG-01-4340 (菓子)、BG-01-4350 (飲料・たばこ)、BG-01-4360 (薬剤・薬品)、BG-01-4370 (化粧品) などが含まれる。そこで食料だけを選ぶためには、4300、4360、4370 を除けばよい。grep で検索するなら、

```
% grep "BG-01-43[1-5]" hachidaishu.db
```

でよい。上記のコマンドで検索してみたところ、表 5 のように 13 首から「塩、蓼水、飯、餅、磯干鯛」の 5 品目が得られた。

表 5: シソーラスコード「食料」(BG-01-43)を八代集シソーラスより検索した結果: 先頭の数字は行番号。次の2桁は歌集を示す。

1	01	000708	0005	A00	BG-01-4330-03-0100	塩	しほ	塩
2	01	000758	0005	A00	BG-01-4330-03-0100	塩	しほ	塩
3	01	000894	0009	A00	BG-01-4330-03-0100	塩	しほ	塩
4	02	001095	0001	A00	BG-01-4330-03-0100	塩	しほ	塩
5	02	001095	0014	A00	BG-01-4310-08-0700	蓼水	ただみ	蓼水
6	03	000423	0005	A00	BG-01-4330-03-0100	塩	しほ	塩
7	03	001350	0006	A00	BG-01-4310-02-0201	飯	いる	飯
8	04	001203	0005	A00	BG-01-4310-06-0102	餅	もちひ	餅
9	05	000501	0007	A00	BG-01-4321-01-0600	磯干鯛	いそひたひ	磯干鯛
10	08	001115	0004	A00	BG-01-4330-03-0100	塩	しほ	塩
11	08	001590	0007	A00	BG-01-4330-03-0100	塩	しほ	塩
12	08	001592	0005	A00	BG-01-4330-03-0100	塩	しほ	塩
13	08	001701	0007	A00	BG-01-4330-03-0100	塩	しほ	塩

1. すまのあまの／塩やく煙／風をいたみ／思はぬかたに／たなひきにけり【古今集 708 番】
5. しほといへは／なくてもからき／世中に／いかにあへたる／たゝみ成らん【後撰集 1095 番】
7. しなてるや／かた岡山に／いるにうへて／ふせるたひ人／あはれおやなし【拾遺集 1350 番】
8. みかの夜の／もちいはくはし／わつらはし／きけはよとのに／はゝこつむ也【後拾遺集 1203 番】
9. あふことは／かたねふりなる／いそひたい／ひねりふすとも／かひやなからん【金葉集 501 番】

歌を通して各食品を吟味する。【古今集 708 番】「塩」は塩焼煙の「塩」であるので、食塩ではあるが、ごちそうではない。【後撰集 1095 番】「ただみ」は蓼の葉のしぼり汁に味噌を加えた冷たい汁物であるから、確かに食物である。ただし「辛い(からい/つらい)」の意味を添えた上で、作者(壬生忠見)の名前を掛けている歌である(片桐, 1990, p.325)。【拾遺集 1350 番】の聖徳太子の歌は「飯に飢へて」なので美食の歌ではない。【後拾遺集 1203 番】「三日の夜の餅は喰はじ」は「新婚三日目に食べる祝いの餅は食うまい」の意味(久保田・平田, 1994, p.391)。【金葉集 501 番】「磯干鯛」はこの語を見ただけでもおいしそうな感じがする。しかし、川村他(1989, p.142)の注釈によると「いそひたひ」を「磯干鯛」と認めながらも「歌意不詳」とある。以上、食物名はまったくないわけではないことがわかった<sup>13</sup>。しかし、9500 首中の 13 首(0.14%)、「蓼水」「餅」「磯干鯛」を認める立場なら、わずか 3 首(0.03%)であるから「食べ物・飲み物それ自体が意識的に排除されている」という主張がいかに正確なものなのかがよくわかる。あらかじめ和歌に出現した語彙をシソーラスにあてはめる作業をしておく、存在しないカテゴリを探することができる。

## 4 おわりに

本稿では、八代集の語彙のシソーラスとその処理ツールの開発について報告した。これらは「歌ことばのモデリングシステム(山元, 2006)」(ネットワーク表現による歌ことばの可視化システム)の内部に用いるデータベースとして開発されたものであるが、語彙の体系的情報を提供するため、他の研究にも利用できるものと思われる。

シソーラスコードを用いることによって、異形同語の語も一括して検索、同形異語のコードも抽出できるようになった。人手による確認作業は必要ではあるが、コードづけの作業は軽減された。照合すべきコードの桁数によって、上位カテゴリの検索や集計も可能になった。シソーラスを参照することによって、和歌に出てくるカテゴリと出てこないカテゴリを確認することができた。上位-下位の関係は文化や状況によって固定的ではないため、上位カテゴリの検索・集計には洩れや矛盾があり、まだ完全ではない。しかし、人手でこの作業を行うのは大変であるので、完全ではないことを承知の上であれば、参考になる情報は得られよう。

<sup>13</sup> 他にも物名(歌に物の名前を詠み込んだもの)に食物名が詠まれている事実があるが、物名は歌の内容を意味するものではなく、また多くは単語や句をまたぐため、語を単位とするシソーラスには登録できない。

既存の分類語彙表の構造に即して古語データを追加していった。すなわち、「即して追加した」ことにより、基礎研究として国立国語研究所で行われた数々の研究成果（たとえば、語彙体系、語彙単位、類義語判別に関する研究など）が本研究のシソーラスにも反映されているものと思われる。しかし、語彙を時代別、カテゴリ別に見たときに、八代集シソーラスから得られる体系的な語彙構造がどの程度の妥当性・信頼性のあるものなのか、今後も検証する必要があるだろう。

現段階では本シソーラスは八代集をカバーするだけである。今後、他の古文についても調査し、充実させ、和歌だけでなく連歌や散文においても利用できるものにしていきたい。機能的には、データ作成上の注釈や問題点も併せて記述していくために、現在のデータをXMLに拡張する予定である。これらのデータは他の研究においても有益であると思われるので、諸方面に問い合わせ著作権およびその他の権利の問題がクリアされるならば、インターネットで公開したいと考えている。

## 引用文献

- 浅見徹 (1986) 「八代集における季節」, 国語語彙史研究会 (編) 『国語語彙史の研究』, 第7巻, 和泉書院, 111-31頁.
- Halpern, Jack (2002) "Lexicon-based orthographic disambiguation in CJK intelligent information retrieval", in *COLING '02: Proceedings of the 3rd workshop on Asian language resources and international standardization*, pp. 1-7, Morristown, NJ, USA: Association for Computational Linguistics.
- 犬飼隆 (1988) 「平安末期複合動詞の意味構造」, 国語語彙史研究会 (編) 『国語語彙史の研究』, 第9巻, 和泉書院, 272-258頁.
- 片桐洋一 (1990) 『後撰和歌集』, 新日本古典文学体系, 岩波書店, 東京.
- 川村晃生・柏木由夫・工藤重矩 (1989) 『金葉和歌集、詞花和歌集』, 新日本古典文学体系, 岩波書店, 東京.
- 川村晃生 (1991) 『撰関期和歌史の研究』, 三弥井書店.
- 久保田淳・平田喜信 (1994) 『後拾遺和歌集』, 新日本古典文学体系, 岩波書店, 東京.
- 久保田淳 (2003) 「文学における食」, 『国文学』, 第特集「食の文化誌」巻, 第7号, 6-7頁.
- 宮島達夫・小沼悦 (1992) 「言語研究におけるシソーラスの利用」, 『国立国語研究所報告』, 第104巻, 第13号, 1-30頁.
- 宮島達夫 (1977) 「語彙の体系」, 『語彙と意味』, 第9巻, 岩波講座日本語, 岩波書店, 東京, 1-41頁.
- 宮島達夫・野村雅昭・江川清・中野洋・真田信治・佐竹秀雄 (編) (1982) 『図説日本語: グラフで見ることばの姿』, 第9巻, 角川小辞典, 角川書店, 東京.
- 中野洋・林大・石井久雄・山崎誠・石井正彦・加藤安彦・宮島達夫・鶴岡昭夫 (1994) 『分類語彙表/フロッピー版』, 第5巻, 国立国語研究所言語処理データ集, 大日本図書, 東京. 『分類語彙表』は1964年に国立国語研究所資料集6林大担当として刊行された.
- 中野洋 (1969) 「新聞語彙調査の類別語彙表について」, 『電子計算機による国語研究II』, 第34巻, 国立国語研究所報告, 秀英出版, 東京, 38-54頁.
- 西端幸雄・藤田久・成田徹 (1989) 『パーソナルコンピュータ語彙索引自動作成の試み』, 和泉書院, 大阪.
- 西端幸雄 (1994) 「語彙史の立場から見た『拾遺和歌集』—使用語句の性格を統計的に見る—」, 国語語彙史研究会 (編) 『国語語彙史の研究』, 第14巻, 和泉書院, 318-303頁.
- 西尾寅弥 (1988) 『現代語彙の研究』, 明治書院.
- NTTコミュニケーション科学基礎研究所 (編) (1999) 『日本語語彙大系 CD-ROM版』, 岩波書店, 東京.
- 阪倉篤義 (1977) 「ことばの古さと新しさ」, 阪倉篤義 (編) 『日本語の歴史』, 第6巻, 日本語講座, 大修館書店.
- 田島毓堂 (1995) 「語彙と単語」, 『日本語学』, 第14巻, 4-11頁.
- (1999) 『比較語彙研究序説』, 笠間書院.
- 土屋信一 (1978) 「高校教科書の同語異語判別システム」, 『電子計算機による国語研究IX』, 第61巻, 国立国語研究所報告, 秀英出版, 東京, 1-16頁.
- 辻勝美 (1998) 「歌謡の研究史—現状と展望—」, 小町谷照彦・三角洋一 (編) 『歌ことばの歴史』, 笠間書院, 東京, 217-238頁.
- 上野理 (1976) 『後拾遺集前後』, 笠間書店.
- 山田進 (2002) 「意味分類辞書」, 『国語学』, 第53巻, 第1号, 30-43頁.
- 山元啓史 (2006) 「歌ことばの可視化とコノテーションの抽出—グラフによる共出現パターンの作り方—」, 『じんもんこん2006, 人文科学とコンピュータシンポジウム』, 第17号, 21-28頁.
- (2007) 「和歌のための品詞タグづけシステム」, 『日本語の研究』, 第3巻, 第3号, 33-39頁.

# 『古事記』学術支援データベースの構築 —系譜の図像化とインターフェイスの検討—

## KOJIKI Knowledge Assistant Database System for Academic Usage: A Study of Making Figure and Interface of Genealogy

生田 敦司\*, 齋藤 晋\*, 杉山 正治\*\*, 柴田 みゆき\*, 宮下 晴輝\*  
Atsushi Ikuta, Susumu Saito, Seiji Sugiyama, Miyuki Shibata, Seiki Miyashita

\*大谷大学文学部人文情報学科, 京都市北区小山上総町  
Otani University, Koyamakamifusa-cho, Kita-ku, Kyoto

\*\*立命館大学理工学部, 滋賀県草津市野路東1-1-1  
Ritsumeikan University, 1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu-shi, Shiga

あらまし:先稿で提案した『古事記』学術支援データベースでは, 検索手段と情報閲覧を提供した。しかし, 操作上の手続きが煩雑であった。また, 内容把握も可視表現も難しい『古事記』の系譜提示に問題を残していた。既存の紙媒体による様々な系図表示手法は, 媒体の限界から構成データが省略されるなどの欠点があった。コンピュータによる既存の系図システムもこの欠点を克服していない。この問題を受けて, これまでに, シームレスな拡大・縮小表示によって高い視認性を可能にするシステムのプロトタイプを構築した(MaSSRIDGe V1.00)。さらに神話に特有の系譜を直観的に理解できる図像化手法を考察し, システムの改良をおこなった(MaSSRIDGe V1.10)。本研究では, MaSSRIDGe V1.10を組み込むとともに, より少ない手順でアクセスできる操作性を有するプロトタイプを考察・実装した。

**Summary:** “KOJIKI” knowledge assistant database system for academic usage aims to help users retrieving information with various ways. The final goal of our system is to show data with flexible and interactive way, which users can change, what they can see. In the first step, we made a prototype of display system for genealogy named “Magnifying And Simplifying System for Retrieve and Display Genealogy Version 1.00” (MaSSRIDGe V1.00). Understanding family lines and figuring genealogies are, however, difficult in “KOJIKI” for three reasons. First, genealogy with precise and complete data is like a maze. Second, many easy-to-see genealogies have limited main names, lines and generations on a paper whatever large or small. Third, existing displaying system for genealogy do not show satisfactory solution on these two problems. MaSSRIDGe V1.00 overcomes these three problems. And more, in mythology, the main target of making genealogy is for gods and goddesses. There are, however, many differences from making human genealogy. That is, only conjugal and its derivative display is incomplete for mythological genealogy. To overcoming this problem, we introduced new showing style and applied to our MaSSRIDGe V1.10. In this paper, we introduce our latest database system with MaSSRIDGe V1.10. This system can access various data simpler way than our first system.

**キーワード:** 古事記, データベース, 系図, 神話, MaSSRIDGe

**Keywords:** KOJIKI, database, genealogy, mythology, MaSSRIDGe

### 1. はじめに

『古事記』の学術研究を支援するシステムの構築が我々のプロジェクトの目標である。人文科学者が古代・上代に関する文献研究を行う際、『日本書紀』をはじめとする諸史料との対比が行われる。この際、『日本書紀』のような

編年体史料には, 記事の指標となる年月日などを着地点として既に索引などが出版され, 普及度も高い。これに対し『古事記』は年月日などの記事指標が存在しないため, 索引を作成する際, 特に索引と本文情報の指標—前述の着地点—との互換性が, 索引作成者の判断に任されることが

常であった。このため編年体史料の索引に比べ、『古事記』の索引は普及度が低い。

上述の問題点から、先稿では、『古事記』について上巻を対象として、研究者が必要とする基本機能を調査し、史料情報の中から、神話における神のデータとその付帯属性を簡便に抽出するデータベースシステムのプロトタイプを提示した<sup>[1]</sup>(以下、文献[1]で示したシステムを「プロトタイプA」と称する)。

本稿では、付帯属性の一つである系譜情報を表示するシステム(MaSSRIDGe)との連携を中心としてプロトタイプAの各種改良を検討した(以下、これを「プロトタイプB」と称する)。

## 2. プロトタイプAの検証

### 2.1 基本機能

本データベースは、先行研究の成果に基づいて『古事記』本文の内容に区切りを設定し、それぞれに見出しを付した。この見出しの存在は、『古事記』の通読経験者が本文の内容を個人レベルで経験的に復元することを促すとともに、データベースにおける語彙索引の着地点として明確に表示させることを可能とする。

プロトタイプAでは、検索画面において語彙検索を行い、次の画面表示を選択できるようにした。

- ① 検索語彙の存在する本文画面を選択して表示させる。
- ② 検索語彙である神の位置づけを系図で確認する。
- ③ 検索語彙に関わる『延喜式』神名帳のデータを表示する。

これらはそれぞれ別の画面で表示されるように実装を行った。この場合、本文を閲覧した後、図像資料や関連資料の画面へ閲覧先を変更する際は、一旦検索結果の画面へ戻り、次にどの画面へ移動するのかを指定して、再び目的画面へ移動する必要があった。

これでは、システム内の移動作業が複雑で、かつ煩雑な印象を与える可能性がある。そこで、プロトタイプBでは、検索語彙としての神名<sup>1</sup>が系図情報とリンクするかたちで画面切り替えを行うように改良した(図1)。

### 2.2 系図表示

プロトタイプAでは、大国主神をモデルとして検索結果に対する系図表示を想定した。具体的には、大国主神を

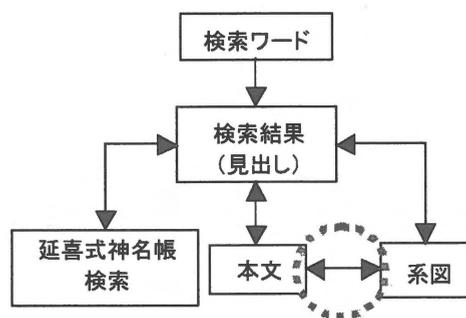


図1 プロトタイプAの概念図

中心に、系譜情報の叙述に従って関係を有する神を罫線で結び、一画面内に表示しうる範囲で図像化を試みた。一画面内に表示しきれないものは、画面境界付近の系図罫線の延長上に矢印を示し、矢印からそれにつながる続柄を示す系図画面へとリンクする形を用いた。この方法は以下のような問題を有している。

- a. 仮に中心となる神が非常に多くの神を娶る、あるいは子として非常に多くの神を生んだことをあらわす場合などでは、一画面に収まらない。
- b. 隣り合う系図画像を順次たどってゆく形で実装を行った場合、遠隔関係にある神同士の関係性が簡単には把握できない。

本研究では、上記2点の問題を解決し、系図の詳細から全体像まで簡便に認知できるシステムを開発し、プロトタイプBに実装した。以下、その詳細を論述する。

## 3. 系図表示システム

### 3.1 これまでの系図表示

従来の系図表示に問題が生じる原因の一つは、紙面の大きさに依存することであった。これによって生じる問題点は、大きく以下の3点が挙げられる。

- A1. 叙述が緻密であった場合、数世代を表示することが難しく、主要な人物のみが強調されやすい。
- A2. 系図全体を表示することが困難で、主要な世代のみが強調されやすい。
- A3. 狭い紙面へ無理に表示すると、関係を示す罫線が複雑になる。

コンピュータと電子テキストと系図ソフトの登場は、紙面の制約に依存する問題を解消したはずである。しかし、上記の問題を解消し、効率良く表示する手法に関する議論はまだ少ない。コンピュータ上での系図表示の問題点は、

<sup>1</sup> プロトタイプは上巻を対象とする。『古事記』全体をみた場合には人名や氏族名も含む。

大きく以下の2点が挙げられる。

- B1. 従来の系図表示ソフトでは、多くの場合、系譜情報が均一の大きさで表示される。そのために、複雑さが解消されていない。
- B2. 情報の省略は無いが、そのために生じる複雑さを回避するためにリンクを設定する場合がある。これは、書籍の紙面サイズの制約をウインドウサイズの制約に置き換えたに過ぎない。

プロトタイプAにおいても、上記5点の問題を有していた。更に、系譜に類似する情報を表示するシステムとして、遺伝子情報を表示するシステムや化学式等を表示するシステムなどがあるが、これらの多くは複雑長大な系図を表示するために開発されたものではないため、系図表示に適切とは言えない。

### 3.2 系図表示システムの構成要素

前節に掲げた5点の問題点を総合的に解消し、視認性の高い表示方法を実現するためには、拡大・縮小機能が必要であると考え、そのシームレスな表示方法を検討した。

前節A1.の人物省略表示と前節A2.の世代省略表示を解決するには、拡大による詳細表示の出現が望ましい。これにより、前節B1.の問題も同時に解決する。また、前節A3.で示した関係表示の煩雑化の問題に対しては、制約のあるウインドウ表示範囲で広大なデータが全方位に、かつシームレスに移動されることが望ましい。これによって、前節B2.の問題も同時に解決する。

このように拡大・縮小によって問題解決を行うためには、情報が表示されたり表示が隠されたりする必要がある(以下この操作を「表示/非表示」と表現する)。情報の表示/非表示を行うためには、系譜の構成要素に階層構造を持たせ、情報を差別化する必要がある。

一方、シームレスな移動と拡大・縮小を行うと、操作の利便性を向上させる半面、現在閲覧している系図中の位置を見失いやすい。これを解決するためには、系図全体のどこを見ているのかを把握できることが求められる。

これらの要求を満たす類似のシステムとして、Google Mapなどの地図画像表示システムの存在が想起される。しかし、系図表示システムに関して同様のインターフェイスは、これまで管見のうちに見られなかった。

更に、プロトタイプに実装する際のデータ送受信を考慮すると、テキストベースの情報が提供されることが望ましい(3.3参照)。

そこで先稿において、テキストベースの系図表示システムに地図画像表示システムのような操作感を取り入れる方法を検討し<sup>2</sup>、その基本機能を実現するプロトタイプシステム、Magnifying And Simplifying System for Retrieve and Display GENEALOGY Version 1.00, 略称「MaSSRiDGe V1.00」ならびにV1.10を構築した<sup>[2][3]</sup>。

### 3.3 系図表示システム構築の基本概念

MaSSRiDGeの基本概念を既存の地図画像表示システムと比較しながら提示する。

地図画像表示には、主に以下の要素が用いられる。

- (1) 地図画像情報
- (2) 表示位置の緯度・経度情報
- (3) 縮尺情報

これらの情報は、情報表示の電子化が行われる以前から用いられてきたものである。これに対し、系図表示システムが必要とする要素は、はじめから諸要素を構築することが求められる。

具体的には、(1)地図画像に相当する系図情報は、系図作成者が、系譜史料から系図化する情報を抽出する必要がある。既に紙媒体などの系図が存在する場合には、それを参考に情報を抽出することも可能である。

次に、(2)表示位置に関して、世界地図では経緯度が存在する。このため、表示面積に対する全体像と各部分の位置情報が容易に設定可能である。これに対して系図では、系譜情報が文章であった場合、データ作成者が系図の全体像を構想し、個々の名前や系譜関係を示す罫線も含めて、各部分の情報配置を座標系として決定する必要がある。システム構築に当たっては、図の始点と終点の位置、及び、系図を表示するための面積は、全て新規に構築されることになる。

最後に、(3)縮尺について、地図画像表示システムは拡大・縮小の単位を世界標準単位で決定できるが、系図表示システムにはそれが存在しない。このため、何らかの価値基準に従った単位を仮に想定する必要がある。

以上の3要素に従って、MaSSRiDGeは、XMLで書かれた系譜のテキストデータを読み込んだ上でこれを整形し、全体と部分を網羅して一体化したような系図を表示する。

<sup>2</sup> 地図画像表示システムのような操作感を取り入れるという表現は、本システムにおいて Google Map API を利用するという意味ではない。XML に記述されたテキストベースの系譜情報を表示する際、画像ファイルを用いずに Google Map のような操作感を得るための API を独自に開発するということである。

これにより、ユーザは適宜、系図情報の表示／非表示をコントロールしつつ、画面の拡大・縮小やシームレスな座標移動が可能となる。

## 4.系譜の図像化

### 4.1 神話における系図情報の選別

#### 4.1.1 神から発生するもの

「系図」「系譜」には、それぞれ、先祖からの系統や、物事の由緒といった意味がある。

記紀神話は神話学における民族・民俗的要素を含みながらも、7世紀後半から8世紀初頭にかけて体系的にまとめられたものであり、しかも高度に政治的意図によって叙述されていることは、学界において多数の支持するところとあってよい<sup>[4][5][6]</sup>。そこで、神々の系譜が『古事記』成立時に何を意図して作られたものかを考慮し、学界の多数派意見に依拠して系図とすることとした。

プロトタイプBでは、史料特性を加味した系図表現を考える際、神話叙述をたどった結果、天皇の叙述へとつながることが示されるのが望ましいと考えた。

本文をたどり系図化を試みると、伊邪那岐神と伊邪那美神が婚姻の後に大八島国を生んだとしたり、大氣都比賣の斬られた肢体から豆や穀物が生成したりというように、生み出されるものが神以外のことがある。この場合、生み出されるものに神格を認めるか否かは研究者の解釈により異なる。

これにより、系図において何を揭示すべきかという検討が必要になる。先行の出版物によっては、本文中に記載されたもの全てを系図に表現したものもある<sup>[7]</sup>。

大八島国の生成にみられる島々は、律令国家における国土概念の表出であると考えられる<sup>[8]</sup>。また、大氣都比賣から生じるものは五穀の「種」として叙述されている。

以上を踏まえて本研究では、一般名詞や固有名詞と同様の呼称で、必ずしも神格と判断する解釈が適当でないものについては、表示要素から除外した。

#### 4.1.2 神の親子関係

『古事記』上巻において、神の発生をあらわす用字は「生」もしくは「成」である。これら用字法の厳密な使い分けは不分明だが、共通して神の発生を示していると考えられる。

また、神の発生を示す叙述はないが、「吾子」や「僕子」などと表現して、物語上の神が特定の神の子であることが認知できる場合がある。この事例も、全ての親子関係を系図化する上で重要な情報である。

以上から本研究では、系図に表示する下位世代の神を選別する条件として以下2つの条件を定めた。

- (1) 「成」または「生」の字をもって誕生が表される。
- (2) 文脈上「子」と認知でき得る。

『古事記』上巻では、神話の冒頭部分で「造化三神」や「神世七代」と称される神が「成れる神」として次々に登場する。これらは「独神」や神世七代の男女対神として、連続する系譜関係を持たないが、その独神に子がある場合が見られる。かつ、文脈上神々の連続性が『古事記』上巻の世界観を形成していることも考慮しなければならないので、これらの独神も他の神と同様に扱う。

#### 4.1.3 単神から生じる神の分類

『古事記』上巻の神話において、神は一柱のみで下位世代の発生を担うことがある。それには次の2つのパターンがある。

- (1) 「物實」(ものざね)との接触より生まれる。
- (2) 神自身の形質変化から生まれる。

(1)の物實とは、物のたね、すなわち生成のもとになるものをいう<sup>3</sup>。つまり物實は、新しい神の生成という意味において重要な役割を果たしている。従って、物實を神格の無い単なる物体として単純に区別することはできない。また、(2)は、神の一部やその死体から新世代が誕生する場合で、先述の大氣都比賣のような事例をさす。

## 4.2 系図の表現と配置

### 4.2.1 一般的方法論の踏襲

我々のシステムでは、『古事記』の情報を表現するため、縦書きの日本語と同様、画面の右上を始点として、世代の進行を下向きへ、同世代・配偶関係を左へ進行させる。

系図の表現は基本的に、文化人類学で行われている方法を踏襲して行う<sup>[9]</sup>。したがって、男性神と女性神の間に生じる神は、従来の人間の系図を表すルール(=)が適用可能である。

造化三神のような独神や神世七代の男女対神は、上述の系図表現を行うことはできない。これらは始点と進行方向に従って、叙述の登場順に、叙述構成の区別で上から下へ、同じ叙述構成要素は右から左へ、それぞれ配置する。

<sup>3</sup> 『岩波 古語辞典』。

#### 4.2.2 単神から生じる神

下位世代の神が物實を介して生じる場合、神と物實の関係は婚姻関係を示すものではない。しかし、神と下位世代を単なる親子関係(|)で結べば、婚姻関係の記述省略と認識される可能性がある。

このような形式を系図で表示するための統一したルールは無い。そこで、単神から生じ、かつ、物實が介在することを直観的に理解できる表示方法が必要となる。また、単神の部分から下位世代が生まれる場合(4.1.3節(2))も、同様の問題を孕む。

そこで、本研究は、文化人類学で「性関係」に用いる記号(一)<sup>4</sup>をアレンジして次のようなルールを考案した<sup>4</sup>(付録4 参照)。

- (1) 下位世代の神を発生させる単神から「一」を引く。
- (2) (1)の途中または終端に、親子関係の「|」を引く。
- (3) (2)の途中で太い横線「一」を引く。
- (4) (3)に下位世代の発生要因となる物實もしくは肢体の名称などを書く。

さらに、(3)と(4)の行程で、発生要因が物實の場合は、親となる神の外部要因であることを示すために、親子線を境界に親神の反対方向へ「一」を引き、肢体の一部などである場合には、親神の内部要因であることを示すために、親子線を境界に親神側へ「一」を引く。

これによって、下位世代が単神の一部等から生じるのか、または物實との接触から生まれるのかの違いを、直観的に見せることができる。

#### 4.3 情報の階層分類

地図画像表示システムでは、最小縮尺表示の場合と、最大縮尺表示の場合、あるいはその中間的な縮尺表示において、表示される情報の大きさや詳細さが異なる。これは地図情報が階層構造を有していることによって実現されている。

そこで、MaSSRIDGeでも、ユーザコントロールに基づく表示/非表示を実現するために、『古事記』上巻の系譜情報から形成する系図について、階層分類を構想した。

本研究では史料内容の解釈に基づいて、以下に述べる①～⑥の判断基準に従って階層分化を行った(図2)。このような叙述解釈の手法は、『古事記』にとどまらず、他の史料にも適用可能である。また、こうした解釈には多様性が

<sup>4</sup> これはあくまで性関係の「一」を利用して、単身から神の発生する要因を示すものである。したがって、記号としての性関係は意図しない。

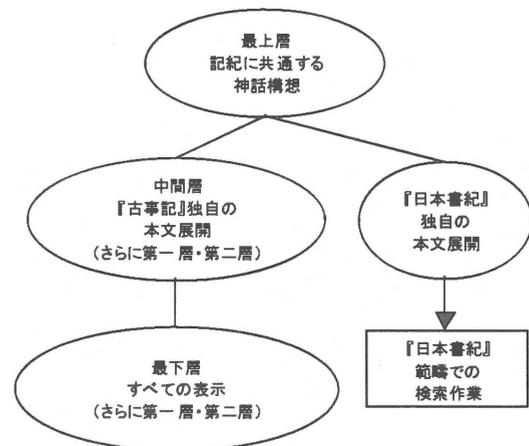


図2 系図表示の概念

想定されるが、MaSSRIDGeシステムではXMLを基本とした柔軟な改作が可能である。

##### (1) 最上層

『古事記』は『日本書紀』と対比して用いられる頻度が高い。このことを考慮すると、双方に共通する内容で、共通しない独自の内容が加味されて表示されることが、史料特性を考える上でも望ましい。そして、前節(4.1.1)で述べたように、記紀神話は高度に政治性を帯びた叙述性を認めることができる。

記紀におけるこのような叙述意図を踏まえると、最も省略された系図は、①記紀に共通していること、②神統譜が上巻最後の神武天皇に最終的につながること、が求められる。

神話における、いわゆる天孫降臨詞章の後には、系譜的に見ると、山神を代表する大山津見神や海神の代表である大綿津見神の女を娶って、神裔が続いている。これは記紀共通の叙述である。そして、天皇が発生する以前に、山・海を内包して、支配領域観念が系譜的に集約されるという政治性を意図したものと解釈し(③)、最上層の表示に加えた。

##### (2) 中間層

系図画面の拡大(寄りのイメージ)によって、最上層で非表示とされた情報が徐々に追加されなければならないが、その結果、次第に『古事記』の情報と『日本書紀』の情報とに齟齬が生じるようになる。本システムが『古事記』内の情報検索を基本機能とする性格上、共通項以外の『日本書紀』との対比は、二次的作業となる。そこで中間層以下は『古事記』の内容に特化し、『日本書紀』との整合性は捨象した。

また、非表示であった情報が急激に増加する見え方は、かえって拡大・縮小と表示／非表示の特性(引き寄りのイメージ)を阻害するものと考えた。そこで、中間層はさらに細分化し、第一層と第二層とを設定した。

中間層での内容は、『古事記』で独自の神話展開が行われはじめる印象を意識し、第一層では、④検索結果に現れる本文見出しの物語詞章などにおける中心的な個性を表示することとした。櫛名田比賣，大国主神，海幸彦・山幸彦の詞章における火照命，などがそれに当たる。

第二層では、⑤第一層の個性に関わって神話の展開に動きをもたらす個性を設定した。天の岩戸隠れの詞章・天孫降臨詞章における思金神，大国主神の国造り詞章における少奈毘古那神などがこれに当たる。

### (3) 最下層

最下層は、⑥これまで表示されなかった残りの要素をすべて表示する。この際、中間層と同様、急激な情報の増加が懸念されるが、実用試験の段階で仮にそのような印象を与える場合には、最下層内をさらに細分化を行うことができる。

## 4.4 神名の別名表示

『古事記』上巻の神は複数の名を有することがある。また、大国主神のように、それぞれの別名で別の神との婚姻関係を持ったり、物語が展開したりする。さらに、系譜では「火之夜藝速男神」の名がはじめに示されるのに、物語では別名の「火之迦具土神」が専ら用いられたりすることがある。このため、読者やシステム利用者の理解のためには、同一の神格の名を別名とともに直観的に一致・理解させる仕組みが必要となる。そこでMaSSRIDGeでは、HTMLのツールチップ機能を採用した(図3)。

表示画面において複数の同一神格名が列挙されることは、視覚的に煩雑な印象を与える。この弊害を回避するために、従来であればリンクを多用することが行われた。

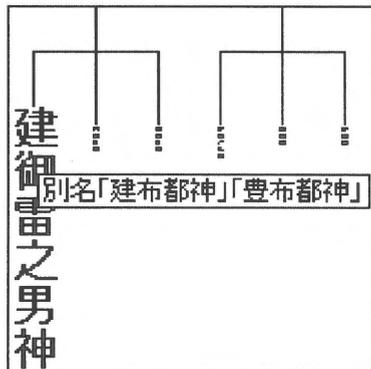


図3 別名表示

MaSSRIDGeは、拡大・縮小と表示／非表示を視覚的に可能とすることで、一枚のシートに大容量の情報を提示することが最大の特徴である。リンクの多用はその特徴を損なうものであり、ツールチップの利用は、本システムの開発趣旨に十分有効な手段である。

以上述べてきたように、『古事記』上巻の系譜情報は現実の人間社会と異なる様相を呈する。本研究はプロタイプBに、4.1・4.2節の考察を踏まえたシステムを搭載している。

## 5. おわりに

以上、『古事記』学術支援データベースについてプロタイプBの概要を提示した。

本稿においては、系図の問題に注目しその実装を試みることに特化して議論した。今後は、本稿の問題の更なる進展を図るとともに、基本機能である検索について、神以外の検索語彙の拡充、あるいは『延喜式』神名帳データに関する議論なども並行して、引き続き検討を加えていく予定である。

## 参考文献

- [1] 生田敦司，齋藤晋，柴田みゆき，“『古事記』学術支援データベースの構築—基本機能の検討—”，人文系データベース協議会，人文科学とデータベース，第12回公開シンポジウム-5，pp.47-54，2006.12.23
- [2] 杉山正治，齋藤晋，生田敦司，柴田みゆき，“『古事記』学術支援データベースの構築—系譜史料の表示形式に関する検討—”，情報処理学会・第75回人文科学とコンピュータ，2007-CH-75(7)，pp.47-54，2007.07.27
- [3] 柴田みゆき，杉山正治，生田敦司，齋藤晋，宮下晴輝，“『古事記』学術支援データベースの構築—神話系譜史料の表示形式に関する検討—”，情報処理学会・第76回人文科学とコンピュータ，2007-CH-76(9)，pp.57-64，2007.09.27
- [4] 津田左右吉，“神代史の研究”，岩波書店，1923
- [5] 井上光貞 責任編集，“日本書紀”，中央公論社，1983
- [6] 上田正昭，“日本神話”，岩波書店，1970
- [7] 三浦佑之 訳・注釈，“口語訳『古事記』[完全版]”，文藝春秋，2002
- [8] 生田敦司，“おほやしま・やそしま・やしま—日本古代の国土を示す用語と概念—”，洛北史学第3号，2001
- [9] 蒲生正男，山田隆治，村武精一 編，“文化人類学を学ぶ”，有斐閣，1979

### 検索ワード(神名)を入力してください。

伊邪那岐命

検索したい内容を以下から選択してください。

- この神が登場する本文への「見出し」を検索表示
- この神の系譜を表示
- 『延喜式神名帳』の検索結果

「検索」ボタンをクリックすると、ここに各種検索結果が表示されます。

付録1 初期画面

### 検索ワード(神名)を入力してください。

伊邪那岐命

検索したい内容を以下から選択してください。

- この神が登場する本文への「見出し」を検索表示
- この神の系譜を表示
- 『延喜式神名帳』の検索結果

### 検索結果

【伊邪那岐命】が登場する本文への「見出し」

- ・ II・III 神代七代(男女対神)
- ・ IV-1 国土の固成
- ・ IV-2 イザナギ・イザナミの結婚
- ・ IV-3 大八島国の生成
- ・ V-1 神々の生成
- ・ V-2 火神の誕生
- ・ V-3 黄泉の国
- ・ V-4 禊祓と神々誕生
- ・ V-5 三貴子の分治
- ・ V-6 スサノヲの涕泣

【伊邪那岐命】の別名を紹介する「見出し」

付録2 検索結果画面

『古事記』本文

Ⅱ・Ⅲ 神代七代(男女対神)

次に成れる神の名は、宇比地速神、次に妹須比智速神。へ此の二神の名は皆音を以のよ。く

次に、角杵神、次に妹活杵神。二柱

次に、意富斗能地神、次に妹大斗乃辨神。へ此の二神の名も亦、音を以のよ。く

次に、於母陀流神、次に妹阿夜訶志古泥神。へ此の二神の名は皆音を以のよ。く

次に、伊邪那岐神、次に妹伊邪那美神。へ此の二神の名も亦、音を以のよ。く上の如くせよ。

上の件の國々等立神。以下、伊邪那美神以前を、并せて神代七代と稱ふ。へ上の二柱の獨神は、各一代と云ふ。次に變入る十神は、各二神を言せて一代と云ふ。く

検索したい内容を下から選択して、本文中の神名をクリックすると、該当する検索結果が表示されます。

- この神が登場する本文への「見出し」を検索表示
  - この神の系譜を表示
  - 『延喜式神名帳』の検索結果
- 

付録3 本文表示画面

The screenshot shows a search interface with the following elements:

- Search Bar:** Contains the text "伊邪那岐命".
- Search Options:** Three radio buttons:
  - この神が登場する本文への「見出し」を検索表示
  - この神の系譜を表示
  - 『延喜式神名帳』の検索結果
- Search Results:** A section titled "【伊邪那岐命】系譜" (Genealogy of Izanami-no-Mikoto).
- Genealogy Chart:** A tree diagram showing the lineage of Izanami-no-Mikoto. The root node is "伊邪那岐命". It branches into several children:
  - 速御雷之男神
  - 山神、大山湊見神
  - 鳥之石楠船神
  - 大宜尊比売神
  - 火之池員土神
  - 海神、大綿津見神
  - 伊邪那美神
  - 於母陀流神、阿夜訶志古泥神
  - 角杵神、活杵神
  - 意富斗能地神、大斗乃辨神
  - 宇比地速神、須比智速神
  - 天之等立神
  - 宇摩志阿期阿備比古速神
  - 神産巢日神
  - 高御産巢日神
  - 天之御中主神
  - 別天神

付録4 系図表示画面

# 人文系研究資料・データの構築・公開ツールと国文学資料事例の紹介

- オープンソースソフトウェア Greenstone を利用して -

Tools for building Web System from Human Science research documents/information, and case study of Japanese ancient books  
- Using Open Source Software Greenstone -

北村 啓子

Keiko Kitamura

国文学研究資料館, 東京都品川区豊町 1-16-10, 142-8585

National Institute of Japanese Literature, 1-16-10 Yutaka-cho Shinagawa-ku, Tokyo, 142-8585

あらまし: 人文科学分野の研究資料・データからウェブ公開システムを構築するツールとして Greenstone を紹介し、国文学資料(和刻本研究情報)への応用事例を報告する。具体的に使用した研究情報データと構築の手順、実行例、特に外部 DB へのリンク参照方式の利用について説明する。さらに、Greenstone で構築したシステムが共同作業で DB を構築するツールとして利用可能であることについても述べる。最後に地理情報の利用可能性について簡単に触れる。

**Summary:** Greenstone is introduced as the tool for building Web System from Human Science research documents and information. The case study to develop the web system using Greenstone from the research information about Chinese ancient books published in Japan. The details are explained about what kind of information is used, how to build it, how it runs, especially how to link to external DB. Next the possibility of cooperative working to collect research information using this system at anywhere in this world is discussed. Finally it is also touched the possibility of using Geographic Information System in such system of Human Science shortly.

キーワード: 人文科学, ウェブシステム, 構築ツール, 共同作業, オープンソースソフトウェア, Greenstone, 電子図書館

**Keywords:** Human Science, Web System, Building Tool, Cooperative Work, Open Source Software, Greenstone, Digital Library

## 1. 人文科学研究情報の組織化・公開

人文科学分野での研究情報も、目録・書誌・調査研究情報から、翻刻などの全文テキストデータ、さらにデジタル画像へと、利用できる計算機技術の進歩、デジタルカメラの高性能かつ低価格化や記憶メディア・装置の低価格化に伴い、容易になってきた。

しかしながら、蓄積した研究情報を公開しようとすると同様に容易になってきたとは言いがたい。初期のカード型DBやRDBの時代は、商用のPCアプリケーション(DBMSなど)がサポートするウェブインタフェースを利用し、データ蓄積の延長上で公開が可能であった。全文データの作成が熱を帯びて来ると、データの交換が盛んになり、また文字列処理ツールが利用されるようになった。ウェブの普及に伴い、データの公開・ダウンロードが容易になり、さらにnamazuに代表されるHP内全文検索を目的にしたフリーソフトウェアが多く出現し、全文検索は誰でも容易に利用できる当たり前の環境になってきた。デジタル画像作成が容易に廉価に可能になり、蓄積は急激に増加してきた。幸い記憶装置・メディアは大容量かつ低価格化の一途を辿っているが、大量の画像を如何に見る／見せるかについては、PCのブラウザやアルバムソフトなど、個人ユースには耐えるが、公開するとなると容易にウェブシステムを構築できるという訳にはいかない。

現状のモニタ精度やネットでのデータ転送スピードに耐える程度の品質の画像データであればアルバム式写真ホスティング(HTMLでのJPEG配信)で可能であるが、研究利用に耐える精度の高品質(データ大)をネットスピードに耐え、かつ高い閲覧機能を持つシステムとなると、イメージサーバなどの利用が必要になる。さらに、書誌情報や全文情報と画像を融合して利用したいのは当然の要求であり、個別のシステム開発が必要になる。

(電子)図書館を始め大学や大きな公共機関では、様々なシステム開発の試みがなされてきている。しかしながら、人文科学分野では研究者が個人または研究グループなど小規模で質の高い研究情報を蓄積している例も多く、その体制での公開となると現実問題として難しい。

本稿では、蓄積されてきた人文科学研究資料・データをウェブ上に容易に公開するためのツールとして、オープンソースソフトウェア電子図書館システムの中でも代表的なGreenstoneを紹介し、その利用事例として

和刻本の『見返序跋刊記集成』に応用した例を報告する。

## 2. Greenstone の紹介

GreenstoneはGNU GPL(GNU General Public License)の下に配布されている電子図書館を構築、サービスするオープンソースソフトウェアである[1]。構築システムとサービスシステム、そして構築システムを簡単に使うためのインタフェースGLI(Greenstone Librarian Interface)[2][3][4][5][6][7]からなる。

「構築」は一般のアプリケーション開発に相当する。しかしながらGreenstoneは開発というより自動生成に近い。特に初心者向けには、電子コレクションにしたい対象のドキュメントを指定すれば、ドキュメントの種類を判定しそれに合わせたウェブシステムを作ってくれる。

「サービス」は構築された電子コレクションをウェブ方式でインターネットを通して広く利用に供する。一番簡易にはGreenstoneが持つウェブサーバ機能を使うことができ、Apachなどの汎用のウェブサーバを使うことも可能である。

「インタフェースGLI」はコレクション作成の指定をビジュアルに行うことが可能で、設定変更を即座に反映し“再構築&実行”を繰り返すプロトタイプ方式で効率的に開発できる。ユーザの技術力に合わせて4段階のモードが準備され、ソースドキュメントの指定だけで自動的に標準的なコレクションが生成される初心者用から複雑なドキュメントの構造に合わせた詳細なオプションを指定できるエキスパート用まで使い分けが可能である。

機能や特長を簡単にリストアップしておく。詳細は[8][10]を参照されたい。

- 多種プラグイン
- 検索用インデックスの自動作成
- 分類(配列)機能
- 自動/自由な表示フォーマット
- メタデータの自動抽出・設定・利用
- 標準 Web Server - Web browser でアクセス可能
- マルチ言語対応
- マルチメディアドキュメント対応
- マルチ言語インタフェース
- マルチプラットフォーム対応(Windows Unix MacOSX)
- スタンドアロン環境～サーバ環境までサポート
- ノンストップ運用形態
- ソース/実行形式とも高いポータビリティ

### 3. 国文学研究資料の事例

和刻本で重要となる見返序跋刊記の記述を調査・収集したExcelデータを対象とし、Greenstone でウェブ公開システムを構築した事例を報告する。

#### 3.1 和刻本の『見返序跋刊記集成』

館蔵漢籍58点と当館がマイクロフィルムで所蔵する漢籍を合わせて1,600点について、その紙焼本を使用して見返・序・跋・刊記、全ての記述についてデータ収集を行った(館内『和刻本研究プロジェクト』による)。

##### データ例

番号: E10020
書名: 訳解笑林広記
著者名: 清(遊戯主人)編 [遠山圓陀](一嘘道人)點
刊: 刊本
書肆: (江、玉巖堂和泉屋金右衛門)
見返序跋刊記情報:
見返○ 文政己丑(十二年)新鐫 遊戯主人纂輯・一
二道人訳解 笑林廣記 東都書房玉巖堂發兌
序○ 序 掀髯叟漫題于咲■ ■
跋×
刊記○ 三都書物問屋 京都寺町通松原下ル町勝村
治右衛門・大阪心齋橋通北久太郎町河内屋喜兵衛・
江戸日本橋通一丁目須原屋茂兵衛・同浅草茅町二
丁目須原屋伊八・同日本橋通二丁目須原屋新兵衛・
同所山城屋佐兵衛・同芝神明前岡田屋嘉七・同本石
町十軒店英屋大助・同浅草廣徳寺前和泉屋庄治郎・
同横山町三丁目和泉屋金右衛門
外字: =:D04403

当館所蔵の漢籍58点、約190冊については、画像データを参照できるよう全頁デジタル撮影を行っている。その他、典拠として長沢規矩也氏著『和刻本漢籍分類目録』をデータ化している。個々の書誌情報は当館の和古書目録DB、マイクロ資料目録DBを利用する。

#### 3.2 ウェブ公開システムの設計

今回使用するデータの関係を図1に示す。個々のデータの紹介と、Greenstone を使ってウェブ公開システムを構築する方法を説明する。

イ. 『見返序跋刊記集成』データは Excel データのまま ExcelPlug プラグインを使って Greenstone に取り込む。代わりに CVSPug プラグインでの取り込みも可能である。

ロ. 書誌情報は和古書目録DB・マイクロ資料目録DBから抽出し、MetadataXMLPlug プラグインを使ってメタデータとして取り込む。CSV データとしての取り込みや、事前に『見返序跋刊記集成』にマーキングしておくことも可能である。

ハ. 典拠である『和刻本漢籍分類目録』は、事前に書名・刊年でのマッチング処理を行い、『見返序跋刊記集成』にマーキングしておくことにする。典拠DBとして独立して動かしておき、実行時にリンク参照することも可能である。

ニ. デジタル画像は、高精細 JPEG2000 を JuGeMu サーバに入れて、Greenstone から呼び出すことにより、高機能な外部アプリケーション(ウェブブラウザのプラグイン方式)の JuGeMu Player を使い高精細画像の閲覧可能とする方式をとる。精度は落ちるが軽い JPEG にして ImagePlug プラグインで取り込み、汎用ウェブブラウザ上で閲覧する方式も可能である。

ホ. 全国漢籍DB(京都大学人文科学研究所附属漢字情報研究センターと東京大学東洋文化研究所附属東洋学情報センターの共同作成、前者がウェブサービスを行っている)が著名である。35機関の所蔵、約62万レコードが蓄積されている。平成19年に、一部京都大学人文科学研究所附属漢字情報センター所蔵分 6,517 件が NACSIS-CAT に収録され、全国漢籍DBへのリンク参照も可能となっている。

本システムからも、リンク参照は可能であり、今後『見返序跋刊記集成』データ収集を引き続き追加作業をする際、全国漢籍DBを参照しながら情報採取をする方式も取れる。特に全国の司書・研究者との共同作業の形で行う場合には、強力なツールとなり得る。逆に、全国漢籍DBから当方DBへリンク参照が有益と考えられる場合は、歓迎する。

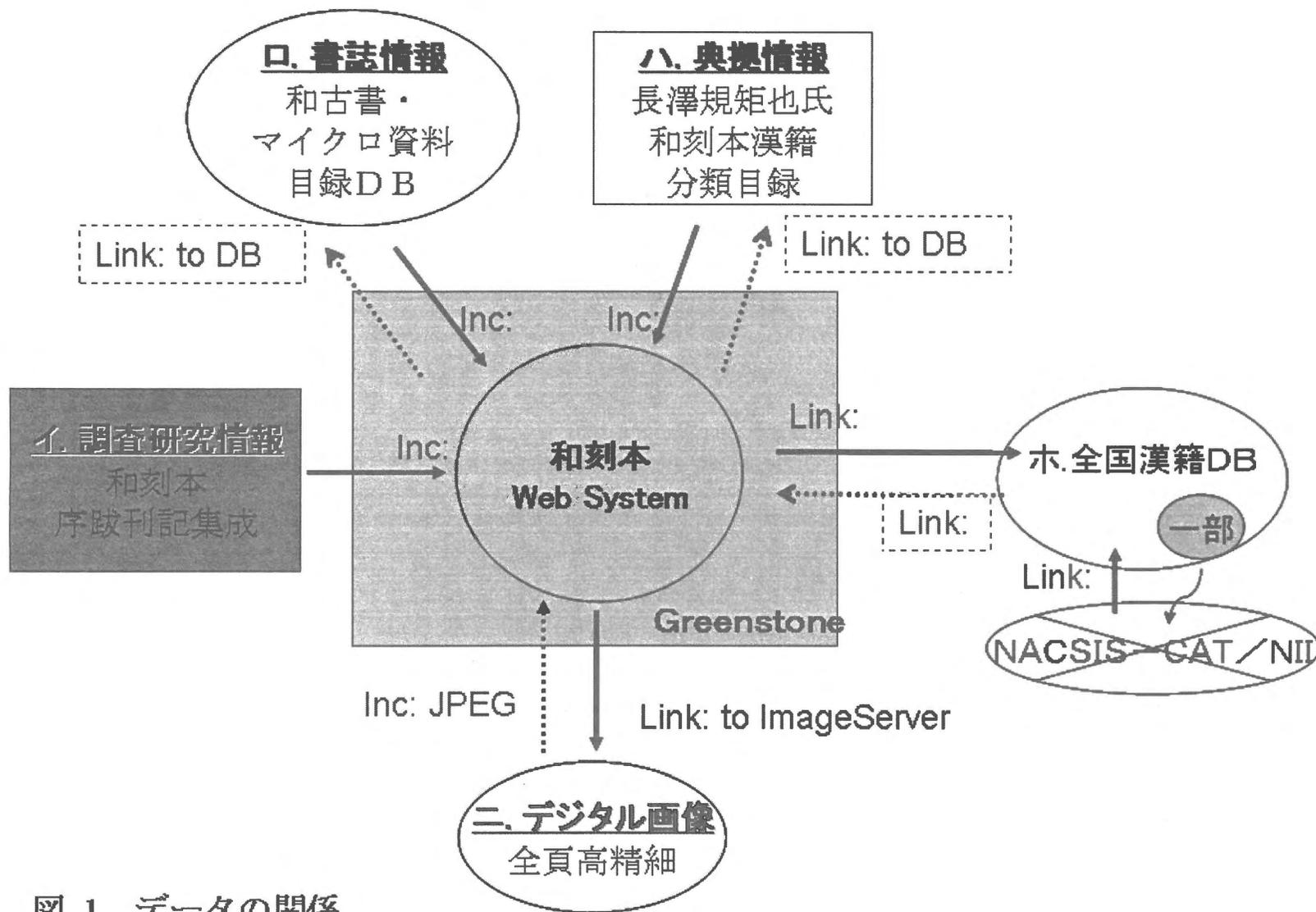


図.1 データの関係

### 3.3 ウェブ公開システムの構築手順

GLIを使って実際に指定する内容(ウェブシステムの仕様に当たる)を、構築の手順に従って説明する。

1. 対象ソースドキュメントの指定(**Gather**):  
Exce データ1・XM メタデータファイル を指定
2. メタデータ追加(**Enrich**): なし
3. 設計(**Design**):
  - 3.1 プラグイン  
ExcelPlug を選択
  - 3.2 検索インデックス  
全文検索: 書名, 著者名, 書肆, 見返  
序跋刊記情報 を指定
  - 3.3 ブラウジングの分類  
分類: 書名, 著者名, 刊年 を指定
4. 作成(**Create**):
  - 4.1 取込オプション 既定値のまま
  - 4.2 構築オプション 既定値のまま
5. フォーマット(**Format**)
  - 5.1 全般  
トップ頁の説明文を入力
  - 5.2 検索 既定値のまま
  - 5.3 表示フォーマット  
書名分類: 書名-著者名(書肆) -- 刊年  
著者分類: 著者名(書肆)-書名  
刊年分類(刊年毎): 書名-著者名  
個々データ: 著者名 書名 刊年 ID  
書肆 序跋刊記  
に変更 他は生成された既定値のまま
  - 5.4 固有マクロ なし

( )内は GLI で表示されるタブ名であり、以上の選択を順次指定していく。終了すると、作成(**Create**)タブの「構築(**build**)」ボタンを押す。指定された対象ソースドキュメントを読み込み、分析し、ドキュメントタイプに合わせて個々のデータ・メタデータを抽出する。引き続きプラグインの既定値とユーザ指定された作成指示(仕様)に従って、検索用インデックス、検索用プログラムと結果(個々のデータ)表示用 HTML、各分類ビューでの表示用 HTML 等々のウェブ公開システムのパーツが生成される。

既定値のまま、オリジナルドキュメントの意味合いに沿った動くウェブシステムが作られる。実際に動かしてみて、変更したい所に手を入れ、再度動かして確認するという(修正→再構築→実行)プロトタイプ方式でシステムの構築・改造を行える。

[開発環境]

- WindowsXP
- 最新版 Greenstone2.7.5(Nov. 9th, 2007 リリース)
- Perl5.8.8+CPAN モジュール

### 3.3 実行例

構築されたウェブ公開システムを実行した例のスクリーンショットを図2に掲載する。左上の画面が「書名分類」ビューの表示、その中の1件のデータを表示したのが左下の画面。さらに、画像ImageServer (JuGeMu Server)をリンク参照し、外部アプリケーション (JuGeMu Player)を利用し当該画像を閲覧しているのが右の画面である。

### 3.3 共同DB構築ツールとしてのシステム

Greenstone は、既存ドキュメントを公開できるウェブシステムとして構築(ほぼ自動生成)するという面で非常に強力なツールであるが、一方、コレクションにデータを追加していく、または作り込んでいくのにも強い威力を発揮する。Librarianをはじめ計算機非専門家にも容易に構築システムを使うためのビジュアルインタフェース GLI(Greenstone Librarian Interface)は、データの追加を容易に行え、特にメタデータを直接入力するインタフェースを持っている。更に、検索や分類項目の変更や、少しの HTML 知識があればそれぞれの頁の表示内容やレイアウトの変更ができる。これは公開システムの改造にあたる。

今後、今回構築したウェブシステムを使って、和刻本の所蔵者(図書館司書や個人)や調査する地域研究者など外部の人も含めて、このDBを遠隔地から共同で構築していくのにも利用できる。

Greenstone は、サーバクライアント形式で GLI-Client から Greenstone サーバへのリモートアクセス・コレクションの編集・構築が可能である。従ってインターネット上のどこの遠隔地からでも同じコレクションの構築作業に参加できる。共同でDBを構築するツールとして使えるのである。共同作業で利用するために、ユーザ管理(Group)機能を持ち、次の3タイプのグループが準備され、アクセスコントロールを行える。

- all-collections-editor
- personal-collections-editor
- <collection-name>-collection-editor:

GLI-Client は Java applet で実現されており、ネットワークがあれば非常に軽装なマシンで利用可能である。

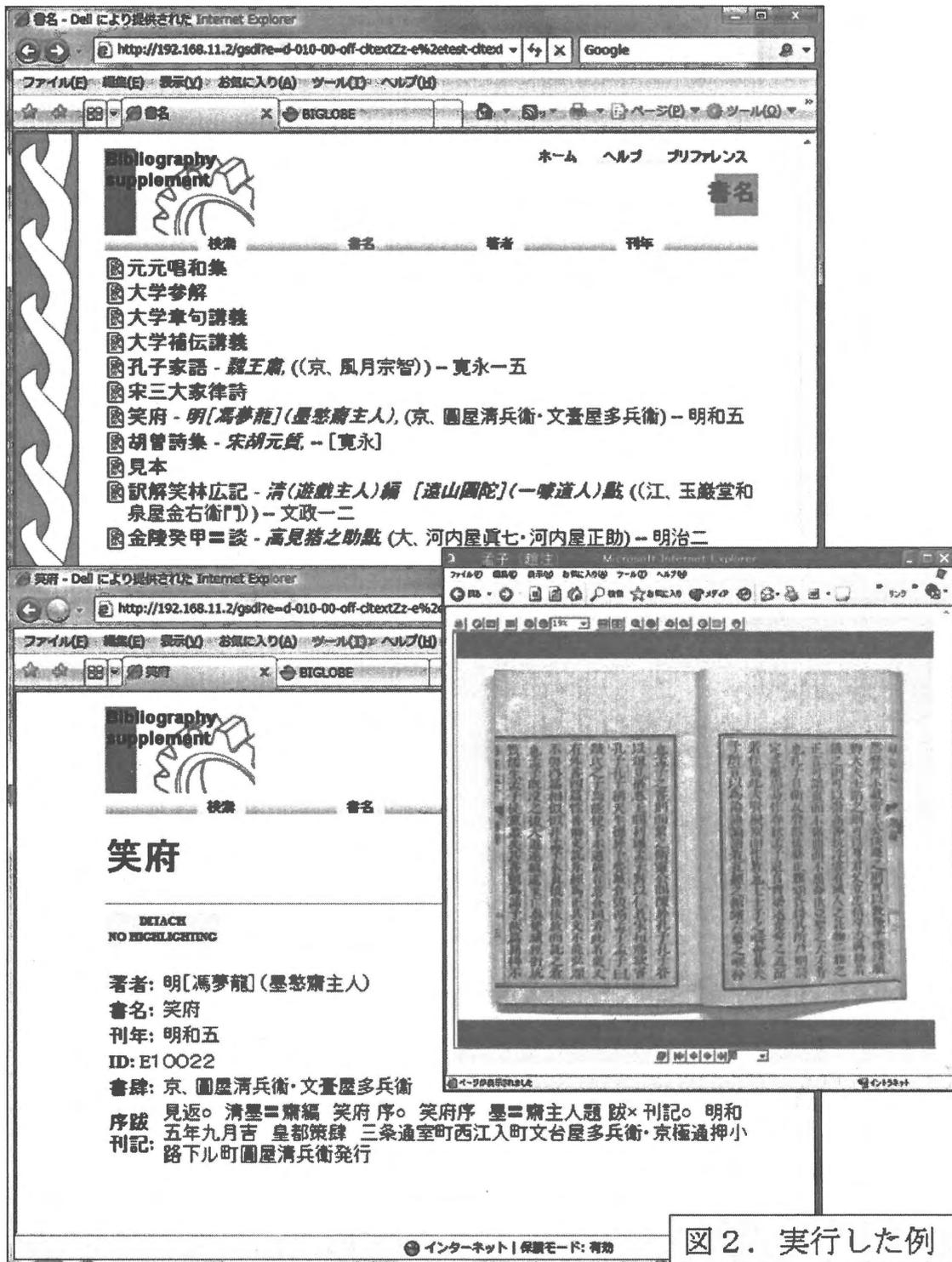


図 2. 実行した例

#### 4. 地理情報の応用について

最近の著しい地理情報技術の発展に伴い、Google Map、国土地理院の電子国土を始め地図製作機関の提供する地図情報は研究分野から日常生活にまで浸透している。ウェブ上での地図利用方法も公開されており、誰でもHPから容易に地図を参照可能になっている。

今回の和刻本の例でも、漢籍の出版地を地図上で参照したり、全体の分布を地図上に重ね合わせるなどの応用例が考えられる。先に述べた外部DBへのリンク方式と同じ方法で容易に実現可能である。ソースドキュメント中に、またはメタデータとして個々の本の出版された位置を座標または地名で入力しておき、実行時に該場所の地図を参照する。また、全ての本の位置情報を使って重ね合わせデータを作成しておき、実行時に地図と重ね合わせることで分布図を参照することもできる。

人文科学分野での研究対象資料は、「場所・時間」との関連が強く、種々の研究情報を検索、参照する時も、地理情報と連携しフィルタリングが効率良く行えたり、新しい関連やアプローチを発見することもあるであろう。逆に、情報提供する側にとっても、地理情報と連携させることにより、異なる多くの方向からのアプローチや示唆に富んだ情報の見せ方の可能性を広げてくれると考える。

#### 5. おわりに

Greenston の紹介と和刻本研究資料を対象にした Greenston によるウェブ公開システムの作成事例を紹介した。[10]では和古書の書誌目録コレクションを、[9][10]では原本画像と翻刻テキストの同期頁めくりの作成事例の報告を行った。人文科学分野の研究資料を対象とする情報の構造を考えてみると、

- 目録情報
  - 目録＋調査情報テキスト＋画像
  - 画像＋翻刻テキスト(or 注釈)
- で多くの場合をカバーできると思われる。

対象とする(取り込み)データも

BibTexPlug BookPlug EMAILPlug ExcelPlug FoxPlug  
HBPlug HTMLPlug ImagePlug IndexPlug ISISPlug  
LaTeXPlug MARCROPPlug MARCPlug METSPlug  
MP3Plug OAIPlug OggVorbisPlug PagedImgPlug

PDFPlug PPTPlug ProCitePlug PSPlug RecPlug  
ReferPlug RogPlug RTFPlug SRCPlug

TEXTPlug W3ImgPlug WordPlug ZIPPlug  
と多種のプラグインが用意されているので、収集しただけ、文書入力しただけのデータから、既に DB に入れているもの、印刷物にしたものまで、ありとあらゆる種類の情報をウェブシステム化することが可能である。今回は紹介できなかったが、プラグインの仕様を自分用にカスタマイズしたり、新たなプラグインを作るなど、オープンソースソフトウェアならではの拡張性の高さにもここで触れておく。

本稿ではウェブ「公開」システムと呼んできたが、言うまでもなく、クローズドなメンバ内のみでの公開や個人利用も可能である。自分が検索利用しやすくするための情報整理ツールとしても有効である。

今回紹介した事例でも、外部 ImageServer へのリンクを使用している。メディアの異なるデータを融合して使うためには、それぞれのメディアに適した専用サーバを利用し、DBからDBへのリンクを使うことにより、既存のDBを容易に利用したり、軽い新たな開発コストでのウェブシステム構築を可能とするなど、一つの良い手段である。また、イメージ、ビデオなど新しいメディアについては、外部アプリケーションを利用する方が、汎用のウェブブラウザの制約を受けず、高機能で良い場合もある。

国文学はじめ人文科学分野でのDB、特に専門色の濃いDBの構築は、従来クローズドなスタッフの手で行われてきた。所蔵目録や研究情報などは、現物がないとデータ採取ができない種のものであり、例えば古典籍のように日本中、世界中に散在しているものの調査が必要な類は、所蔵者や地域専門家に参加してもらいインターネット上で共同構築していく形態が望まれている。その一例である当館古典籍総目録構築システムの開発については[9]で報告している。

インターネット上では、Wikipedia、WIKIなど不特定多数が参加して大規模な知識・情報を作り上げていく文化が根付き、これらの共同作業用のシステムの中には利用できるものもあるが、DBには必ずしも適していない。何よりこの文化は、人文科学分野には馴染に難いかもかもしれない。

Greenstoneはこの目的での使用も期待され、大規模DBの世界規模での構築に安定的に耐えるか否か、これから実験・評価をしたい。

## 12. 謝辞

本研究では、館内和刻本(五山版・近世初期刊本)の研究プロジェクト』とのジョイントの形で、研究成果の利用・公開を目的に Greenstone の応用事例としてに取り組みさせて頂いた。プロジェクト代表の山崎教授を始め、プロジェクトメンバの入口助教、陳準教授、山田助手(平成 18 年度まで)に感謝致します。

## 13. References

[1] Witten, I.H., McNab, R.J., Boddie, S.J., and Bainbridge, D. (2000) "Greenstone: A comprehensive open-source digital library software system" Proc Digital Libraries 2000, 113-121, San Antonio, Texas, June.

[2] Witten, I.H. (2004) "Creating and Customizing Digital Library Collections with the Greenstone Librarian Interface." International Symposium on Digital Libraries and Knowledge Communities in Networked Information Society, University of Tsukuba, Tokyo.

[3] Witten, I.H., Bainbridge, D., and Boddie, S.J. (2001) "Power to the people: end-user building of digital library collections" Proceedings Joint Conference on Digital Libraries, 94-103, Roanoke, VA, June.

[4] Witten, I.H. and Bainbridge, D. (2003). How to Build a Digital Library. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.

[5] Witten, I.H., Bainbridge, D., Paynter, G. W. and Boddie, S. (2002) "The Greenstone plugin architecture." Proceedings Joint Conference on Digital Libraries, 285-286. Portland, Oregon.

[6] Witten, I.H., Moffat, A., and Bell, T.C. (1994) Managing gigabytes: compressing and indexing documents and images. Van Nostrand Reinhold, New York.

[7] David Bainbridge, Wendy Osborn, Ian H. Witten, and David M. Nichols, "Extending Greenstone for Institutional Repositories", Digital Libraries: Achievements, Challenges and Opportunities, 9th International Conference on Asian Digital Libraries ICADL 2006, pp303-312,(2006)

[8] 北村啓子, オープンソースソフトウェア Greenstone による古いマニユスクリプトコレクションの開発- Jawi 語(マレーシア国立図書館)と日本語のケー

スタディ -, デジタル図書館ワークショップ 第 28 回論文集, 「デジタル図書館」 No. 28, ISSN 1345-9198 (冊子体: ISSN 1340-7287)(2005)

[9] ウェブ方式の古書目録DB用データ入力システムの開発- 外字問題を中心に -, 国文学研究資料館紀要, Vol.32, pp.1-10 (2006)

[10] オープンソース電子図書館システムの利用支援, 国文学研究資料館紀要, Vol.33 pp.1-18, (2007)

# 研究者のためのマイ・データベース・システムの開発

及川 昭文

総合研究大学院大学 〒240-0193 神奈川県三浦郡葉山町  
人間文化研究機構 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 4-3-13

山元 啓史

オーストラリア国立大学

## My Database System for Researchers

Akifumi Oikawa

The Graduate University for Advanced Studies: Shonan Village, Hayama-machi, Kanagawa  
The National Institute for Humanities: 4-3-13 Toranomom, Minato-ku, Tokyo

Hilofumi Yamamoto

The Australian National University: Canberra ACT 0200, Australia

あらまし：一般的に人文系のデータベースは標準化が困難で、研究者それぞれの研究内容や成果と深く関連している。したがって、データベースの対象となる研究資料が同じであっても、データベースは研究者ごとに異なったものになりがちである。さまざまな研究資料がデータベースとして共有化されることは、その分野の研究の発展には重要な要素であるが、まずはそれぞれの研究者のニーズに応えたデータベースが作られることが必要となってくる。すなわち、人文系の研究者でもデータベースを簡単に作り、それを研究に活用できるシステムの開発が望まれる。マイ・データベース構想とそれを実現することを目標に開発したデータベース・システムについて報告する。

**Summary** : It is difficult to standardize databases in the humanities because the styles and formats of humanity database deeply depend on the contents and results of each study. It frequently occurs that the final format of databases by two researchers varies even if they use a completely same material. First, it is necessary to produce a database which satisfies the demands of researchers. Secondly it is essential to share a database with other researchers for the progress of studies.

We therefore propose a database management system called "My Database System (MDS)" which allows researchers to easily construct their own database and use it for their studies. We address the concept and the approach to the realization of MDS.

**キーワード** : マイ・データベース・システム, nihuONE, 品質管理, 研究支援ツール

**Keywords** : my database system, nihuONE, quality control, research tool

### 1. はじめに

マイ・データベース（以下、MyDB）構想は、筆者らが開発した BBDB（Bare Bone Database）システムにその緒がある。BBDB で目標としたことは、人文系研究者の中にある 2 つの技術的な課題の解決である。すなわち、まず、まず第 1 の課題は、資料をデータベース化できないということ。第 2 はデータ

ベース化までは何とかできるが、自ら使うのみで広く Web などで公開はできないということである。BBDB では“simple is best, small is beautiful”という理念のもとに開発を進め、1998 年から総合研究大学院大学のサーバでの運用を開始した。その後バージョンアップや運用上の問題から、BBDB の開発の継続が困難になり、今日に至っている。[1]

そのような中で、大学共同利用機関法人「人間文

化研究機構（以下、機構）」によって、機構を構成する5つの研究機関（国立歴史民俗博物館、国文学研究資料館、国際日本文化研究センター、総合地球環境学研究所、国立民族学博物館）で保有するさまざまな研究資源を広く活用できる情報環境を創り出すことを目指して、3年計画で2005年度より研究資源共有化事業が開始された。

この情報環境を実現するために、3つのサブシステムに分けてソフトウェアの開発が2006年度から開始された。各研究機関が公開しているデータベースをダブリン・コアに準拠したメタデータに基づいて横断検索を実現するシステム（通称：分散型システム）、研究者自身によるデータベース作成を容易にし、また研究支援機能を強化したシステム（通称：集中型システム、以下、nihuONE）、時間情報や空間情報（地理情報）を分析できるシステム（通称：時空間システム）の3つである。[2]

nihuONEは、マイ・データベース・システム（以下、MDS）を強く意識して設計、開発されたもので、2007年4月から試行運用を始め、現在は第2次開発が進行中である。この第2次開発は2007年中に終了し、機能や性能についての評価を行い、その結果に

基づき最終的な手直しを行った後、2008年4月より本格的な運用を開始する予定である。

本稿ではMyDB構想を含め、このnihuONEでMDSがどのように実現されているかについて報告する。

## 2. MDSのコンセプト

データベースは基本的には多くの人に共有されることを前提として作成されるものであるが、MyDBとはその名のとおりに自分だけのデータベースである。すなわち、研究者個人が、分析の対象として、あるいは研究の成果をまとめたものとして作られるものを想定している。

多くの場合、データベースは周到な準備を経て、組織的、計画的に作成されるものであるが、MyDBは研究者が個人的に（場合によってはグループもあり得るが）作成するものである。まずは作ってみて、不具合があれば項目の定義を変更したり、再編集したり、試行錯誤を繰り返しながら作られていくことになる。MDSは、そのような作業が容易に行われるよう設計されている必要がある。以下、MDSの要件について述べる。

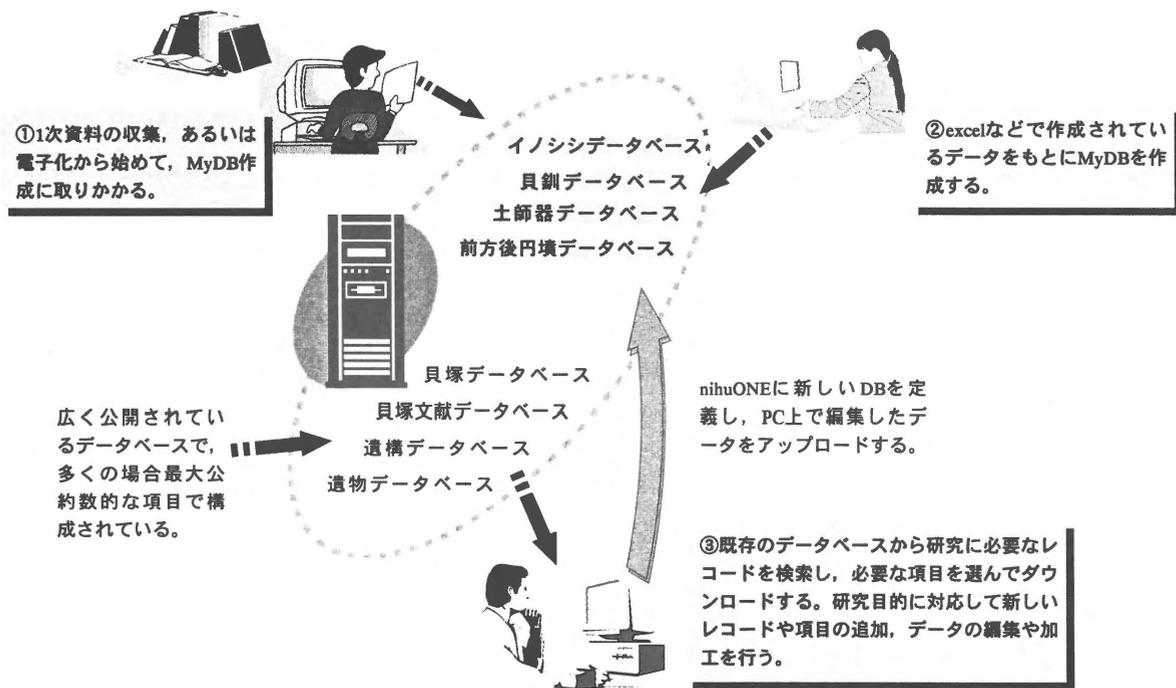


図1 マイ・データベース・システム (MDS) のイメージ

## 2.1 作るのが簡単

MDS の概念は図 1 で示されているが、MyDB を作成する過程としては、以下の 3 つのケースが想定される。

- ① 1 次資料を集めることから始める。あるいは 1 次資料は収集済みであるが、電子化はまだで、まったくゼロから MyDB を作成する (図 1 の①)
- ② 1 次資料の電子化はできており、excel などのソフトを利用してそれなりに活用している。このデータをもとに MyDB を作成する。(図 1 の②)
- ③ 既存のデータベースを加工、再編集したり、あるいは新しい資料を追加したりして MyDB を作成する。(図 1 の③)

いずれのケースでも、単純かつ容易な作業で MyDB を作成できることが、MDS には求められる。たとえば①の場合、excel などは使えなくても、ワープロなどで決められた書式でデータをテキストとして入力すれば、それがそのままデータベースにアップロードできること。②の場合では excel ファイルを CSV 形式のファイルに変更するだけでデータベースにアップロードできること。③の場合であれば、既存のデータベースから必要な項目を、CSV、タブ区切りなど多彩な形式で簡単にダウンロードできることなどである。

概要	鶏をモチーフとするコレクション
公開/非公開	<input checked="" type="radio"/> 公開 <input type="radio"/> 非公開 <input type="radio"/> 認証ユ
キーワード	鶏
ダウンロード	<input type="checkbox"/> 一般利用者も可
URL	
一覧表示	<input type="radio"/> 通常 <input checked="" type="radio"/> サムネイル
備考	

図 2 データベース定義画面 (一部)

## 2.2 容易な定義変更

MyDB は研究と密着したデータベースとすることができる。したがって研究の進展に伴って、項目追加や項目の属性や内容の変更が必要となることが少なくない。また、研究成果をデータベースに反映し、そのデータベースを再び分析に活用するということもある。つまり、研究と連動してデータベースの構成や項目定義の変更を容易に行えることが MDS には不可欠である。

具体例で示す。図 3 は nihuONE で公開されている田村コレクション・データベースの検索結果一覧である。このデータベースは、すべてのレコードに画像が含まれており、検索結果一覧をサムネイル画像表示とすることも可能である。次期バージョンではこの切り替えを利用者サイドで、簡単に行えるよう

田村コレクション <検索結果 344 件>

次の 10 件>

No.	ID	枚	種別	素材	キーワード
1	10001	0	置物	プラスチック...	ページュ; オス
2	10002	0	置物	陶磁器	ミントン; グリーン; 茶; オス
3	10003	0	置物	ガラス	台座 (楕: 12*12**2コp); オス
4	10004	0	置物	陶磁器	
5	10005	0	置物	陶磁器	マイセン

図 3 検索結果一覧 -テキスト表示-

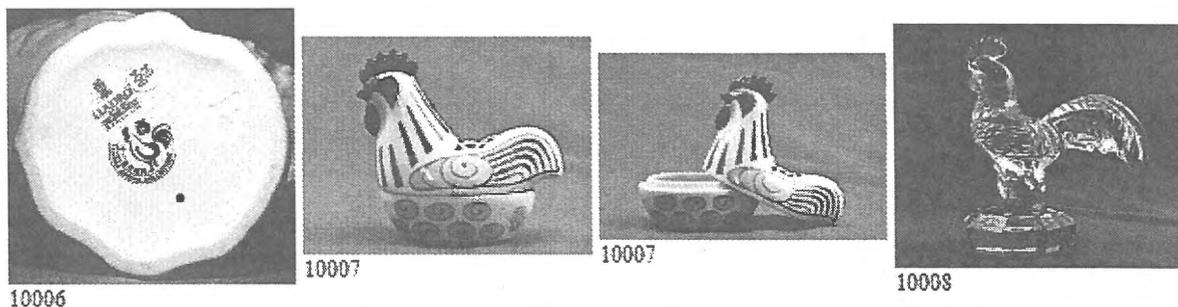


図 4 検索結果一覧 -サムネイル表示-

にする計画であるが、現在はデータベース定義で一覧表示を「サムネイル」に変更すれば(図2)、データベースを作り直す必要もなく、即座に画像表示に変更することができる。(図4)

### 2.3 検索から活用へ

本来データベースは蓄積されたデータを分析したり、人事システム、給与システムあるいは大学における学務システムなどのように業務を効率よく運用するために開発、発展してきたものである。ところが情報化時代の到来とともに大量の情報の中から必要なものを探し出す、いわゆる検索機能が重要視されるようになった。その結果、検索やそれに関連した機能は、ハードウェアやOSの発展とともに格段に充実してきているが、データベースに格納されているデータを分析したり、活用するための機能は不十分なままの状態にある。

MyDBは参照情報というより、分析対象として利用することを想定している。したがって、MDSでは検索機能だけでなく、検索された結果の活用を支援する機能の充実が重要になってくる。どのような機能が必要かは、今後の大きな課題であるが、現在nihuONEには支援機能としては、後述する統計機能、KWIC検索機能とダウンロード機能などが準備されている。

## 3. nihuONEによるMDSの実現

nihuONEの設計、開発においては、MDSのコンセプトを可能な限り反映させることを目指した。それがどこまで実現できたか、試行運用している現時点では的確に評価することは難しいが、前述したMDSの諸要件をnihuONEでどのように実現しているかを説明する。

### 3.1 nihuONEとは

図5のようにnihuONEはXML型データベース・エンジンであるShunsakuを核としているが、開発においては、まったく手を加えず製品版のまま利用することにした。これはShunsakuをカスタマイズすることによって生じるシステム管理・運用の煩雑さやそのための経費増などを避けるのが大きな理由である。各モジュールの主な機能は以下ようになる。

#### システム管理・運用モジュール

- ・利用者の管理(登録・削除・編集など)
- ・データベースの登録・削除
- ・利用統計
- ・システムのバックアップとリカバリ

#### データベース管理モジュール

- ・データベースの管理
- ・項目定義
- ・表示(一覧、詳細)定義

#### 検索モジュール

- ・検索(横断検索、詳細検索、絞込検索、数値検索、KWIC検索など)

#### 活用モジュール

- ・統計処理
- ・ダウンロード

各モジュールは、それぞれの改変やバージョンアップが他のモジュールに影響しないように、可能な限り独立性を保持するようにした。

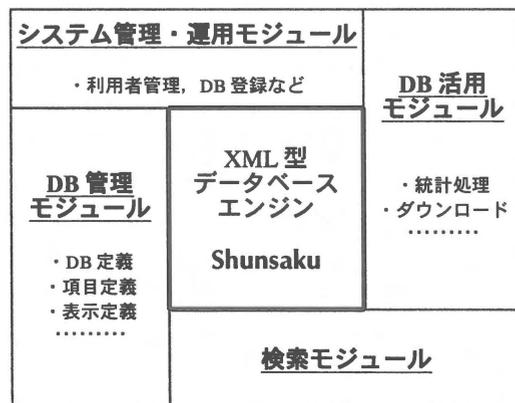


図5 nihuONEの構成

### 3.2 システム運用とDB運用の分離

一般的にDBMSの運用においては、システムの管理とデータベースの管理は同じ管理者が兼ねることが多い。このためDBMSに収録されるデータベースが多くなればなるほど、管理者の運用に関わる負荷は大きくなる。結果として、それぞれのデータベースのアップデートや保守に支障をきたすことが少なくない。nihuONEではこのような状況を回避するために、システム運用とデータベース運用を完全に分離している。

nihuONEの利用者は表1のように4種類に区分される。nihuONEでの基本的なデータベース作成プロセスは、

- ①データベースの登録
- ②データベースの定義
- ③項目の定義
- ④表示（一覧，詳細）形式の定義
- ⑤データのアップロード

となる。このプロセスにおいて、admin が関与するのは、①のデータベースの登録のみである。

この登録処理では、「データベース識別記号」と「データベース管理者」の設定を行う。このように、①以後の作業はすべてデータベース管理者の仕事となり、システム管理者はデータベースの管理・運用の作業から解放されることになる。このことは多数のデータベースを公開、運用している部署にとっては、システム運用にのみ専念すればよく、非常に大きなメリットとなる。

一方データベース管理者は、自分が作成し、その内容を熟知しているデータベースのみを管理するわけであるから、たとえ複数のデータベースを管理するとしても、運用の作業は大きな負担とはならない。むしろ、システム管理者に依頼しなくても、自分の判断でそれぞれのデータベースを管理・運用できることは大きな利点といえることができる。

表1 nihuONE の利用者区分

区分	権限・役割など
admin	システム管理者で、一人だけ登録できる。その役割は利用者の管理、データベースの登録・削除、利用統計の閲覧、システムのバックアップ・リカバリなどである。
DB 管理者	データベースの管理・運用を行う者で、各データベースに必ず一人だけ設定する。
登録利用者	認証を必要とするデータベースの閲覧やデータのアップロード・ダウンロードの権限を付与された利用者である。
一般利用者	一般公開されているデータベースのみを閲覧できる利用者である。

### 3.3 項目定義と品質管理

データベース管理者がデータベースを作成するにあたって、最も重要な仕事は項目定義である。項目定義では表 2 で示す属性を各項目ごとに設定することになる。

この項目定義は画面（図 6）上で行うが、あらか

じめ excel などで作成しておき一括してアップロードすることもできる。また定義が終了した時点で CSV ファイルとしてダウンロードする機能もある。

項目定義は、既に入力されているデータの内容との整合性が保証されれば、データベース作成後に変更することもできる。たとえば、検索項目となっていない項目をあらたに検索対象としたり、区切り文字を追加したり、最小値や最大値の値の変更などである。また、項目そのものを新しく追加したり、削除することも可能である。

データベースの利用価値を左右するものの一つはデータの品質である。nihuONE においては、データの品質を高めるための品質管理（Quality Control, 以下 QC）機能を充実させた。QC は項目定義でパラメータを入力しておくことで、データのアップロード時に実行される。表 2 は項目定義で設定しなければならない属性の一覧であるが、そのうち属性の欄が塗りつぶされているものは QC 項目である。

**データ型チェック：**その項目が表 2 の「データ型」のどれにあたるかは必ず指定しなければならない。それぞれの項目データがこの指定に適合しているかどうかを調べる。

**ペアチェック：**文献目録データベースなどで「著者名」「著者名よみ」のように必ず同時に存在しなければならない項目があった場合、いずれかが欠落していないかを調べる。

**Table 変換：**入力されたデータが、DB 管理者によってあらかじめ登録されているテーブルに含まれているかどうかを調べる。テーブルには変換する値（数値でもテキストでも可）も設定されており、エラーがなければその値を指定された項目のデータとして展開する。

**デリミッタ項目の 2 重チェック：**たとえば「シジミ、アサリ、ハマグリ、カキ、アサリ」と入力されたデータを、「アサリ、~~アサリ~~、カキ、シジミ、ハマグリ」とソーティングし、同じ文字列がある場合は自動的に削除する。

**辞書チェック，辞書変換：**あらかじめ nihuONE にデータベースとして登録されている辞書と照合し、入力されたデータがその辞書に含まれているかどうかを調べる。また、エラーがなければ、その辞書の任意の項目値を新しい項目データとして展開する機能もある。

## B01 貝塚データベース

項目自動生成 項目数:  start:  間隔:

項目定義アップロード ファイル名:

項目定義ダウンロード CSV形式

タグ	項目名	ID項目	データ型	種別	必須	非公開	htmlテキスト	検索	KWIC	統計	頻度	複数項目区切り	ソート	削除
編集	010 遺跡番号	<input checked="" type="checkbox"/>	11	D	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	削除
編集	020 県市コード	<input type="checkbox"/>	2	D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	削除
編集	030 遺跡名称	<input type="checkbox"/>	3	D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	削除

図6 項目定義画面 (部分)

表2 項目定義 -属性一覧-

属性	内容	属性	内容
タグ番号	項目を識別する3桁の数字	KWIC検索	KWIC検索の対象とするかどうかの指定 (Yes/No)
名称	項目名称	区切り文字	デリミッタ項目 (注2) の場合, 使用する区切り文字。
表示名称	一覧表示や詳細表示の際に表示する項目名称	ソート	デリミッタ項目の場合, 区切られた文字列単位でのソーティングの指定 (注3)
ID	ID項目かどうかの指定 (Yes/No) (注1)	html	htmlテキストかどうかの指定 (Yes/No)
データ型	データの種別を表すコード 1=テキスト (全角のみ) 2=テキスト (半角のみ) 3=テキスト (全角, 半角) 11=数値 (カンマ, 小数点を含まない) 12=数値 (カンマを含む) 13=数値 (小数点を含む) 14=数値 (カンマ, 小数点を含む) 20=ファイル	頻度統計	検索結果の集合に対して頻度統計の対象とするかどうかの指定 (Yes/No)
最小値	データ型が数値の場合の最小値を指定 (不明の場合は空白)	基本統計	検索結果の集合に対して基本統計の対象とするかどうかの指定 (Yes/No)
最大値	コードが数値の場合の最大値を指定 (不明の場合は空白)	Table変換	Tableを利用したテキスト変換の指定
テキスト長	コードがテキストの場合の最大バイト長を指定 (不明の場合は空白)	リンク対象	他のデータベースへのリンク指定
必須項目	必須項目かどうかの指定 (Yes/No)	ペアチェック	著者名と著者名読みのように必ず同時に存在する項目の指定
検索対象	検索の対象とするかどうかの指定 (Yes/No)	辞書チェック	辞書を参照してその辞書の中に存在するかどうかをチェックする
		公開・非公開	公開・非公開の指定
		ダウンロード	ダウンロードの可否の指定

注1: 複数の項目を ID 項目として指定することもできる。その場合すべての項目値を連結したものが ID として認識される。

注2: 「デリミッタ項目」とは、一つの項目に複数のキーワードなどがあらかじめ指定された区切り文字 (デリミッタ) で区切って入力されている項目のことである。たとえば、区切り文字「;」で区切られたテキスト「情報処理; データベース; XML」などが入力されている項目。

注3: デリミッタ項目の場合、区切り文字で区切られた文字列単位でソーティングして格納しなおすかどうかを指定する。例えば、「アサリ, シジミ, マシジミ, ハマグリ」と入力されていた場合、これを「アサリ, シジミ, ハマグリ, マシジミ」とソーティングすることである。

エラーログ：QC 機能ではないが、エラーログにも工夫を加えた。図 7 はアップロードの際のログリストである。ここではいくつかのエラーがあることが表示されている。エラーが生じた箇所を見つけやすいように、正しくアップロードできた最前のレコードの ID を表示し、そこから何行目にエラーがあったのかが示されている。すなわちこのレコード ID を手がかりにすれば、もとデータのエラー部分を探ることが容易になる。

```

Batch START
クラス名: com.fujitsu.campus.nomir.control.batch.FileUploadBatch
ユーザID: admin
開始時間: 2007 11 07 02:30:59
貝属性データベース のアップロードを開始しました。
27行目 (10025から1行目) 040: 水深11は数字を入力して下さい。
45行目 (10043から1行目) 040: 水深11は数字を入力して下さい。
46行目 (10043から2行目) 040: 水深11は数字を入力して下さい。
47行目 (10043から3行目) 040: 水深11は数字を入力して下さい。

```

図 7 エラーログの例

### 3.4 SDF 形式

レコード・データを一括してアップロードするファイルの形式としては、CSV、タブ区切りなどが一般的であるが、nihuONE ではこれらの形式の他に独自の形式として SDF (Standard Data Format) と名付けた形式を取り扱えるようにした。

SDF とは図 8 のように「タグ番号」「|」（区切り文字として使用）」とデータから構成されたテキストファイルである。したがって、ワープロなどで作成したり、編集することが可能となる。この SDF 形式を設定した主な理由は、CSV、タブ区切りの形式ではテキスト中に「改行」の制御文字を含めることができないからである。

たとえば、最近文献目録データベースなどに「目次」という項目を設定し（図 8 参照）、そこに目次の見出しを「/」などの文字で区切って入力する例が多く見られる。しかし、見出しが多数ある場合は非常に読みにくくなる。この「/」の代わりに「改行」にすれば、図 9 のように見やすくなる。

また、一つの項目のデータが長い場合（たとえば、貝塚データベースの出土している貝類の名称を入力する項目で、非常に多くの貝が出土している場合、テキスト長が 3000 バイトを超えるレコードがある）、excel の一つのセルで画面がいっぱいになり、編集がやりにくいということも理由の一つである。

```

010|10001
020|鉅野県発見『父母恩重経』の『省略経』の新資料（鉅
7）について
040|新井 慧誉
070|豊山教学大会紀要
090|第 30 号
100|13 東京
110|豊山教学振興会
120|2002/11/1
130|p17-28
150|石碑の概要／石碑建立のいきさつ／（鉅 7）のテキ
スト／経文の検討／結語
160|630
170|690
210|0388-2500
;

```

図 8 SDF 形式の例

13 ページ	p17-28
14 一般注記	石碑の概要 石碑建立のいきさつ （鉅 7）のテキスト 経文の検討 結語
15 内容	

図 9 テキスト中に改行を挿入した例

### 3.5 リンク機能

データベースに「参考文献」といった項目がある場合、そこには「書名、著者名、発行者、発行年月日」といった書誌情報が入力されている必要があるが、階層構造を持たせて入力している DBMS も少なくない。nihuONE においても階層構造を持ったレコードを構築することも可能であったが、BBDB の理念である“simple is best, small is beautiful”を継承し、レコードの構造は可能な限り単純な構造とした。

フラットな構造にしたわけであるが、階層的な関係を実現するために「リンク機能」というものを実装した。この機能は次のような手順で実現する。

- 1) 項目定義の際に、あらかじめリンクするデータベースの識別記号を設定する。この項目を「リンク項目」と呼ぶ。設定できるデータベースは nihuONE に登録されていればどのデータベースでも可能である。すなわち同一データベース中の他のレコードにリンクすることもできる。
- 2) リンク項目にリンク対象となるデータベースのレコード ID を入力しておく。
- 3) 詳細表画面で、リンク項目に表示されている ID をクリックすれば、当該レコードが別画面で表示される。

7 時代	縄文中期
8 遺跡コード	113
9 遺跡種別	貝塚
10 遺構コード	999
11 遺構種別	その他
12 土器型式	早稲田3類・赤御堂
13 関連文献	020001; 020011; 020012
14 貝類	アカニシ, アサリ, ア ウバガイ, ウミミナ, タマガイ, サルボウ, ヤマトシジミ

データベース名		貝塚文献
No.	項目名称	入力内容
1	文献番号	020011
2	タイトル	赤御堂遺跡発掘調査概要報告書
3	著者	滝沢幸長; 松山力; 小滝一三; 時田健; 工藤尚克;
4	掲載誌等	
5	巻号	
6	頁	29-33
7	発行年	1975
8	発行者	八戸市教育委員会
9	コメント	6-F 第一地点出土の貝類について: 小滝一三

図 10 リンク項目の例 (貝塚データベースと貝塚文献データベース)

具体的に示すと、図 10 は貝塚データベースの検索結果の詳細表示であるが、「関連文献」がリンク項目となっており、ここにある「貝塚文献データベース」のレコード ID (たとえば 020011) をクリックすると当該文献が表示される。

### 3.6 ファイル型項目の活用

項目属性のデータ型に「ファイル」がある (表 2 参照)。この項目に入力されるのはファイル名で、ファイル本体は事前に nihuONE のサーバ上に転送されることになる。詳細表示画面でこのファイル名をクリックすると、ブラウザがファイルの拡張子に応じた処理を実行する。たとえば、jpg, gif などの画像ファイルや pdf ファイルなどは、画面上に展開、表示されるが、CSV などのファイルは「開く」か「保存」を問い合わせる。

図 11 は幕末明治地勢地図の詳細表示で項目「索引地図」に入力されている pdf ファイル名をクリックすると図 12 のような地図が表示される。利用者はこの地図をダウンロードして自由に利用することができる。[3]

これらのファイルが nihuONE 以外のサーバに格納されている場合は、別の方法で同じような処理を実現できる。項目の属性を“html”と指定することによって、その項目に入力された文字列は html テキストとして解釈される。たとえば、`<a href='http://www.minpaku.ac.jp/marsimages/mcd5/083.jpg'>` のように入力力しておけば、nihuONE 以外のサーバに格納されている画像が表示される。この機能を利用することによって、画像ファイルだけでなく、さまざまなファイルへのアクセスが可能となる。

項目名称	入力内容
国ID	K01
国名	山城
国名よみ	やましろ
郡数	8
郡ID	G01001,G01002,G01003,
郡名	葛野, 愛宕, 乙訓, 紀伊
郡名よみ	かどの, をたぎ, おとく
隣接国数	6
隣接国ID	K02,K03,K05,K06,K21,
隣接国名	大和, 河内, 摂津, 伊予
府県ID	M26
府県名	京都府
師管ID	S04
師管名	第4師管
索引地図	K01-1.pdf
pdf_files	K01-1.pdf; K01-2.pdf;
SHP_files	K01; G01
備考	

図 11 幕末明治地勢地図の詳細表示



図 12 pdf による地図

- 14 布地特性 刺繍, キルティング, 刺し
- 15 素材コード E20
- 16 素材 毛
- 17 構造技術コード F47;F49;F59;F76
- 18 構造技術 袖がついているバスト, t
- 19 備考 田中千代コレクション 黒
- 20 標本名 女性用 上衣
- 21 収蔵場所 田中千代コレクション



22 サムネイル画像

図 13 国立民族学博物館にある画像の表示例

図 13 はその例であり、ここに表示されている画像は国立民族学博物館のサーバに格納されているものである。[4]

#### 4. MyDB の活用

データベースを単に検索するだけでなく、そこに蓄積されているデータ(情報)を活用するためには、そのための仕組みをデータベース・システム側に準備しておく必要がある。nihuONE は“探すから使うへ”ということを開発の目標の一つとしており、そのための機能の充実を図った。具体的には統計処理機能、KWIC 検索機能の実装と、ダウンロード機能の拡充である。

##### 4.1 統計処理

検索して得られたレコード集合に対して統計処理

を実行する機能で、「基本統計」と「頻度集計」の 2 つがある。

**基本統計** データ型が「数値」の項目に対して「最小値、最大値、平均値、標準偏差値」を計算する機能である。

**頻度集計** 項目にデータとして入力された文字列単位でその頻度を集計する機能で、デリミッタ項目の場合にとくに有効である。2 つの項目までのクロス集計も可能で、さまざまな分析の基礎資料として活用できる。

基本統計もそうであるが、この頻度集計の結果は CSV 形式でダウンロードできる。図 14 は貝塚データベースの出土遺物である「哺乳類」の集計結果をダウンロードし、excel で若干の編集を行い表示した例である。

	A	B	C	D
1	ほ乳類	出現頻度	比率(%)	累積
2	イノシシ	1188	13.53	13.53
3	シカ	1080	12.3	25.82
4	イヌ	601	6.84	32.67
5	ウマ	495	5.64	38.3
6	ニホンジカ	448	5.1	43.4
7	タヌキ	385	4.38	47.79
8	ウシ	232	2.64	50.43
9	ノウサギ	195	2.22	52.65
10	有	193	2.2	54.84
11	アナグマ	186	2.12	56.96
12	クジラ類	185	2.11	59.07
13	クジラ	170	1.94	61
14	キツネ	127	1.45	62.45

図 14 頻度集計結果を excel で表示

##### 4.2 KWIC 検索

KWIC (Keyword In Context) リスト(図 15)は、言葉の使われ方などを分析するのに利用されるが、ほとんどの DBMS には KWIC 検索は実装されていない。nihuONE では検索のための索引作成が不要であるという特長を生かし、KWIC 検索の実現を図った。

- パネルディスカッション「パソコンソフトに求められるもの - 人文科学 者からの提案-」
- メタデータによるデータベースの機関間連携の実現 - 人文科学 データ共有のための標準化-
- 「人文科学とコンピュータ研究会」2年間の主査を終わって
- パネル討論「人文科学 にとっての“デジタルアーカイブ”」
- パネル討論「人文科学 研究資源の共有化 -国文学研究資料館を例として-」
- ...lin CoreメタデータとZ39.50プロトコルにもとづく 人文科学 系データベースの統合検索に関する実証実験

図 15 KWIC 検索結果

### 4.3 ダウンロード機能の拡充

利用者が多くなれば多くなるほど、データベースを活用するための機能は多種多様なものが必要になってくる。しかし、開発や運用コストを考慮すると、それらのニーズのすべてに応えることは困難である。nihuONE では次善の策として、検索処理のさまざまなフェーズで、データのダウンロードを可能にすることによって、利用者の利便性を高めることにした。すなわち、利用者は自分のパソコンにダウンロードすることによって、データを自由に加工したり、より高度な統計分析を行ったり、あるいは GIS などの入力データとして活用することができる。利用者がダウンロードできるのは、

- ①検索したレコード群の全データ
- ②検索結果一覧
- ③ KWIC リスト
- ④基本統計結果
- ⑤頻度集計結果

で、①の場合は、ダウンロードする項目やデータ形式の選択が可能となっている。②～⑤は CSV 形式のみとなっている。

### 5. 今後の課題

MyDB というコンセプトが、またそれを実現することを目的の一つとして開発された nihuONE が利用者に受け入れられるかどうかは、まだ不明である。現在機構の研究資源共有化事業のなかで、モニターを募集し、実際にデータベース作成が進められており、それぞれのデータベースが完成した時点で、これらのモニターに nihuONE に対する評価を依頼することになっている。その時点で要望あるいは課題が出てくると想定しているが、これまでの試験運用のなかで検討を要する課題として、以下を挙げることができる。

**グループによる MyDB 作成** MyDB は一人で作成することを前提としているが、グループで一つのデータベースを作成することに対応した仕組みの検討が重要であると考えている。たとえば、全国規模の考古学遺跡データベース作成にあたって、日本全国をいくつかの地域にわけ、それぞれの地域を分担して複数の利用者がデータ作成を行う場合、その手順や品質管理をどのようにして行うかなど、検討すべ

き項目は多い。

**データベースの特性分析** データベースそのもののバージョンアップ、すなわち項目の再編成やキーワードの変更などを検討するには、データベースがどのような項目や検索語で検索されているのかなどについての詳細な分析が必要となってくる。そのためには、当該データベースの利用ログを一定期間収集し、基礎資料の作成を行わなければならない。現在の nihuONE にはその機能は実装されていないため、できるだけ早い段階でその機能の追加を実施したい。

### 6. おわりに

MDS は特定のデータベース・システムを指すのではなく概念的なものである。MDS にどのような機能が必要で、どのように運用されるべきかといったことは、まだ定まっているわけではない。MDS 構想そのものを含め、今後 nihuONE 利用者を交えて広く議論していくことを考えている。本稿がそのためのきっかけになれば幸いである。

- [1] 及川昭文, 山元啓史「Web 公開のためのデータベース・エンジニアリング」情報処理学会研究報告 CH-49, pp.49-56, 2001
- [2] 及川昭文, 藤沢桜子, 洪政国, 山元啓史「研究支援機能を強化したデータベース・システムの開発」第 13 回公開シンポジウム「人文科学とデータベース」論文集, 2007 (印刷中)
- [3] 鎌田聖子, 及川昭文「幕末明治地勢地図境界データの作成」人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, 2007 (印刷中)
- [4] 中川隆, 高橋晴子, 及川昭文「民博コスチュームデータベース (MCD) の過去・現在・未来」人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, 2007 (印刷中)

# キトラ・高松塚古墳のフォトマップ撮影と画像の保存活用 -埋蔵文化財写真でのデジタル画像とデータベース-

The photo map photography of KITORA・TAKAMATUDUKA burial mound and  
the save inflection of the image

中村 一郎

Ichiro Nakamura

独立行政法人国立文化財機構 奈良文化財研究所, 奈良市二条町2-9-1

Nara National Research Institute for Cultural Properties, 2-9-1 Nijyocho, Nara

**あらまし：**文化庁の恒久保存方針にしたがって、はぎ取り・解体が相次ぐ飛鳥の古墳。現地保存から解体保存へ切り替えるために最大限の記録を残さなければならない。正確な寸度まで再現できる画像記録の「フォトマップ」を作成した。試行錯誤と記録の保管まで含めたワークフローの構築をおこなった。

**Summary：**An old burial mound of Asuka where I strip it off according to a permanent save policy, and the dismantling occurs successively of the Agency for Cultural Affairs. We chose "the photo map record" of the image record that We could reproduce to accurate size to leave a maximum record among a local save to change it. We built the workflow which We included to trial and error and the safekeeping of the record.

**キーワード：**飛鳥, 古墳, フォトマップ, 記録写真, データベース

**Keywords：**Asuka, burial mound, photo map, photorecording, database

## 1. はじめに

「飛鳥」現在の行政区画で奈良県高市郡明日香村に所在するその地には、律令制の整う以前の古代より宮が置かれ古墳も点在する地域である。その南部に位置するキトラ古墳・高松塚古墳の2つの古墳は、共に棺を納める石室内部に極彩色の壁画が描かれていることで有名である。また、両古墳の壁画は発見されてから現在までのあいだに、消失・崩壊寸前の状態まで劣化した事でも知られた古墳である。

両古墳は数年前から文化庁による恒久保存方針に基づいて、それぞれ内部発掘した上ではぎ取り・石室解体などの事業が文化財研究所に委託され、現在はその最終段階まで進められている。

内部発掘調査にあたり、石室内部壁画の正確な状態を記録する必要がある。狭い空間での壁画まで含めた実測作業は非常に困難な上に壁画を傷つける危険性もあるため、この調査では非接触で写真画像を利用した正確なデータを取得できる「フォトマップ撮影」の技術を利用することになった。

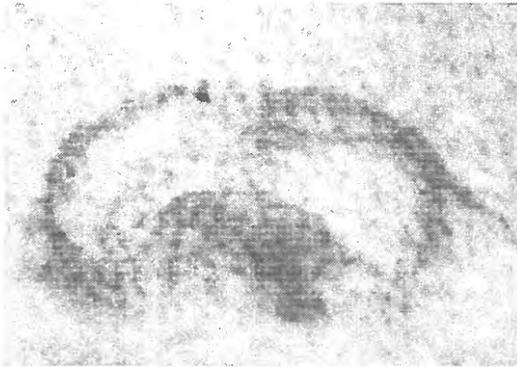
本稿ではフォトマップ撮影の概要とその詳細、事後のデータ活用方法や画像資料の保存における問題点などを検証していきたい。

## 2. キトラ古墳のフォトマップ撮影

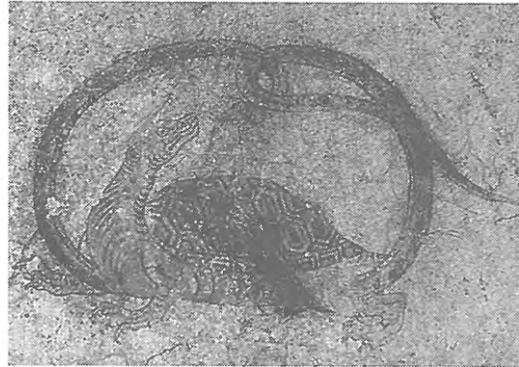
### キトラ古墳の概要

キトラ古墳は飛鳥地域の西南部にある国の特別史跡に指定されている古墳で、1983年のファイバースコープ調査で石室北壁に描かれた玄武（東西南北の守り神を表す四神のひとつ）が発見された。その後10数年を経て1998年には超小型ハイビジョンカメラで画像調査がおこなわれ、この時には四神のうち白虎と青龍、そして天文図などが臙気ながら確認されている。

奈良文化財研究所では2度の内部画像調査で確認された画像をさらに鮮明にする目的で、2001年にコンパクトデジタルカメラによる画像調査を明日香村教育委員会から受託しておこなった。写真1～4に見られるようにその時々最新の技術で記録しているが、技術の進歩はまさに加速度的に進んでいることがわかる。こ



1983年内部画像調査（ファイバースコープ）

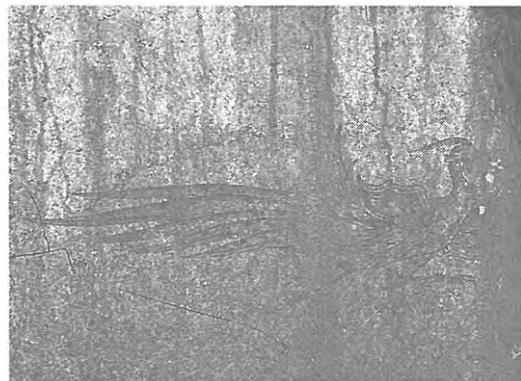


2001年内部画像調査（小型デジタルカメラ）



1998年内部画像調査（超小型ハイビジョンカメラ）

の時初めて南壁に描かれた「朱雀」の躍動感ある姿や四神の下部に配置されていた十二支像の痕跡をとらえることに成功した。

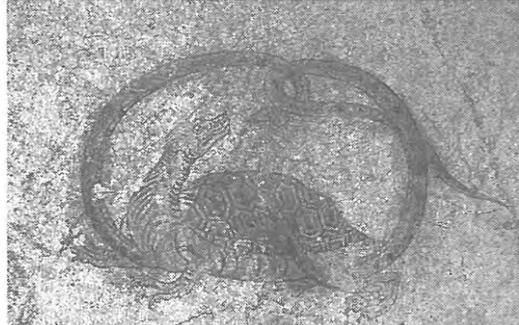


2001年画像調査で発見した「朱雀」(Copyright Asuka 2001)

#### 恒久保存方針

その後の内部追加確認調査などを経て、カビの発生や壁画そのものの劣化が確認された。これにより文化庁が内部発掘調査の上、保存方法を検討。その結果、現在もおこなわれているように壁画をはぎ取って保存する方針が決定した。

これに先立ち、内部壁画の現状記録と正確な寸度入り画像を取得するために「フォトマップ撮影」をおこなうこととなった。



フォトマップ画像

#### フォトマップ撮影

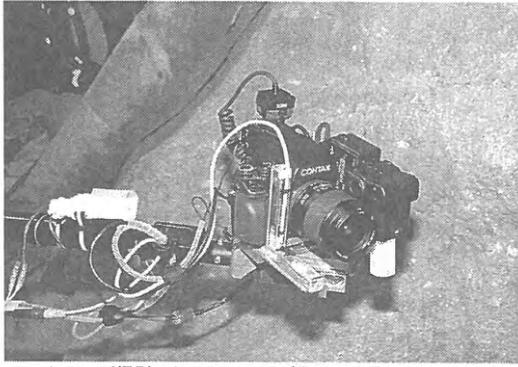
フォトマップ撮影とは、写真測量の原理を応用して、まず全周にわたる寸法入りの写真を撮影。レンズの光学的な誤差などを解析して精密な平面画像を作成する。そののち作成した平面画像に詳細に撮影した画像を変形して貼り込む作業をおこなって、精度の高い平面画像を作成する技術である。

キトラ古墳の場合は発掘調査のうち、内部調査前に盗掘坑を検出した段階と、内部発掘調査後の流入土がすべて除去された段階の2度のフォトマップ撮影が要求された。2度とも内部に入っただけの撮影が許されない制約があり、盗掘坑から遠隔操作にて撮影することとなった。

#### 使用機材

フォトマップ撮影をおこなうにあたり、遠隔撮影が必要な点・遠隔操作にて膨大な数の撮影をおこなわなければならない点・デジタル解析にて画像を作成する点などの理由から開発の著しいデジタルカメラを使用して撮影することを選択した。キトラ古墳では1600万画素のデジタルカメラバックを装着したオートフォーカスの中判カメラを使用することとなった。

画角やピント等の確認をおこなうためにカメラバックの画像をリアルタイムで確認できる改良を模索した



フォトマップ撮影をおこなったデジタルカメラ

が、この時点の技術では困難であったためにカメラ側でファインダーに超小型ビデオカメラを装着して常時モニターを確認しながら作業をおこなえるようなシステムを考案した。このシステムは、のちの高松塚古墳の調査などにも応用され、大変利用価値の高いシステムとなった。

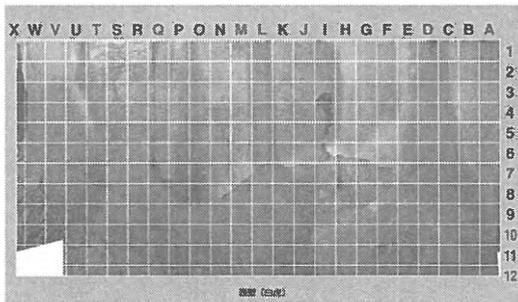
光源は市販のフラッシュにオープンチューブタイプ（マイクで言えば全指向性：全面にむら無く配光できる）のアダプタを組み合わせる照明むらの無いようなライティングとした。

カメラボディなどの重量物を支えて最大3.5mの長さで遠隔操作をするために映画撮影用の照明スタンドを改良、先端部に装着したカメラの角度を自在にコントロールできるようにした。このスタンドを作業スペース下部に設置したレールによって平行移動する仕組みで平面写真を撮影する計画を立てた。

これらの装置をケーブルで石室外のPCやモニターに接続して外部からすべての操作をおこなえるようにするとともに、石室内にあるカメラなどの位置や状態をモニターできる監視用小型カメラも設置した。

#### 撮影作業

撮影にあたっては、事前の画像調査と画像によって作成した概略の内寸測定結果をもとに大まかな実寸大画像を作成した上、フォトマップ機材の解像度やレンズ画角などから10cmメッシュの撮影範囲を区切って



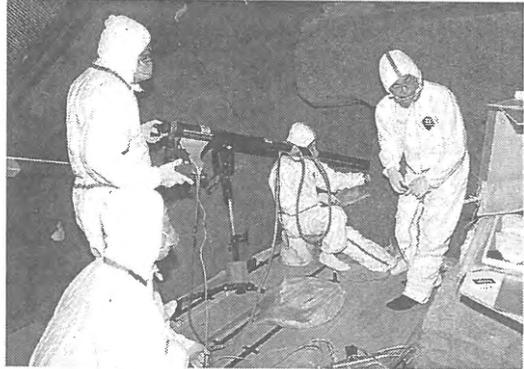
概略図をもとに撮影計画をたてる



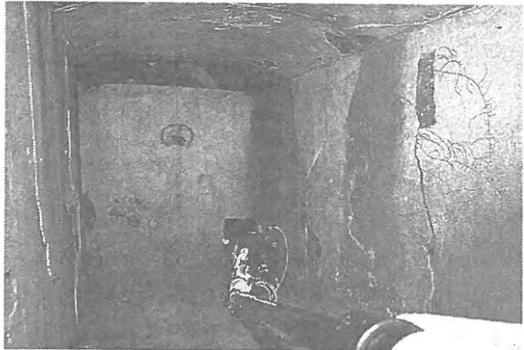
実物大模型によるシミュレーション

合計1600カットの撮影を計画した。

このような撮影では、予期せぬトラブルや事故に備えて事前に綿密な計画を立てて望まなければならない。特に湿度90%以上の石室内にある壁画は非常に脆く、ほんの少しの接触で崩壊する危険性が高い。完全非接触が求められる。幸い手元に大まかな実寸大の石室模型があったので十分な操作シミュレーションまでおこなうことができたため無用のトラブルは避けることができた。



フォトマップ撮影風景



フォトマップ撮影風景

このようにして撮影した画像を専用の解析ソフトウェアで精密平面画像と詳細画像の貼り込みをおこなうとフォトマップ画像ができあがることとなる。この画像とともに壁画の輪郭線などをプロットしたベクトル図面データを書き起こして詳細図面を作成することも

可能となった。

キトラ古墳ではのちに保存対策として、壁画をいくつかの部分に分割してに漆喰ごとはぎ取り、保存処理を施すこととなった。この作業の際には原位置把握やはぎ取り後の復元的貼り合わせ作業でフォトマップ画像が大変有効に活用できた。

### 3. 高松塚古墳のフォトマップ撮影

#### 高松塚古墳の概要

高松塚古墳はキトラ古墳と同じく飛鳥地域の西南部に位置するが少し北にあり、藤原宮中軸線と天武・持統合葬陵やキトラ古墳などを結ぶいわゆる「聖なるライン」上に位置している。

1972年に発掘調査がおこなわれ、極彩色の人物壁画が発見された日本でもっとも有名な壁画古墳である。古墳は後に国の特別史跡に指定され、壁画は国宝に指定されている。

この壁画の重要性から、墳丘南側には温湿度を石室内と同じ環境に保つ前室が設置され、最新の注意を払って保存処置がなされてきた。しかし、ここ数年の気候変動や人的過失ほか報道などで知られるとおりの様々な要因からその劣化が進み、早急に恒久的な保存処置が必要な事態を迎えた。

このような事態を受けて文化庁は古墳を発掘調査の上、石室を壁画ごと解体し近くに設置する保存処理施設に移送して保存処置をおこなうことを決めた。奈良文化財研究所ではこの保存事業のうち、発掘調査と石室解体を受託し、調査を進めることとなった。

この事業は特別史跡である古墳本体を発掘調査し、国宝を擁する石室を解体するという前代未聞の大プロジェクトであり、中でも記録に関しては最大限の注意を払っておこなうことが求められた。

#### フォトマップ撮影

このような状況の中で、肝心の壁画本体の写真記録に関して、これまでどのようにおこなわれてきたのかまず調査することを始めた。

写真記録に関して、発見当初に調査団からの依頼で京都の美術出版社が撮影した写真がある。これは壁画を正面からとらえた4×5判のカラー写真である。光源は当時のスタンダードであるタングステンランプである。状況を示す記録写真としては良好な撮影であると思われるが、撮影から30年あまりを経過しており、写真色調の劣化は激しい。さらに色調再現をおこなうためのターゲットが写し込まれておらず、当時の色調や

形状を再現することは不可能である。

その後、数度の調査・点検時に記録用として撮影された写真は存在するが、それぞれ小型カメラで撮影されたもので記録写真としては不足である。

2004年に東京文化財研究所が「国宝壁画」図録撮影のために様々な光学的手法と共に撮影した写真がある。高松塚国宝壁画の劣化を世に知らしめた図録である。この撮影は非常に高精細で特殊偏光撮影されており、色材確認などには大きな威力を発揮している。しかし発見当時の写真と同じく色調・形状を示すターゲットが撮し込まれていないために再現は困難である。

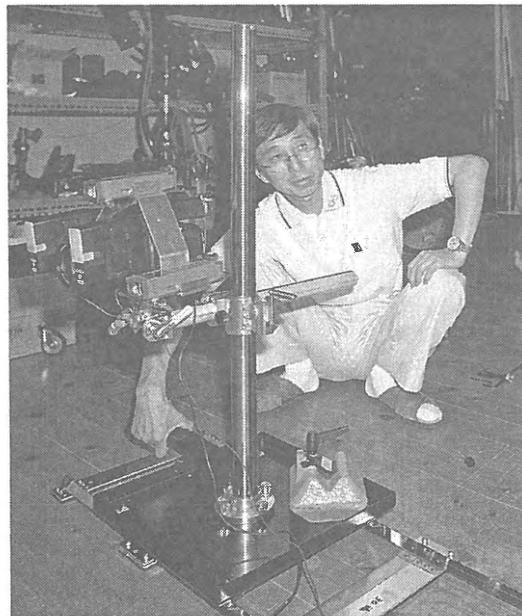
こういった状況から、写真記録としては非常に高精細なものが残っているものの、正確な色調再現・形状再現などが可能な記録を残す必要があると判断し、キトラ古墳で大きな成果をあげた「フォトマップ撮影」をおこなうこととなった。

#### 使用機材

高松塚古墳でフォトマップ撮影をおこなう条件としてキトラ古墳とは異なる点がある。石室内に機材を入れて撮影することが可能な点である。つまり、キトラ古墳では困難であった壁画面への正対撮影が可能ということである。これはフォトマップ撮影においては画像の精度を上げる大きな利点である。

様々な検討の結果、次のような撮影装置を制作することとなった。

- ・ レールを設置してカメラの水平移動が可能な架台
- ・ 架台上でカメラを前後させる機能を持たせる



制作した撮影用架台

・カメラを壁面にミリ単位で正対させる装置  
これら制作に必要な装置は医療用精密機器などを製作している業者に頼むこととなった。

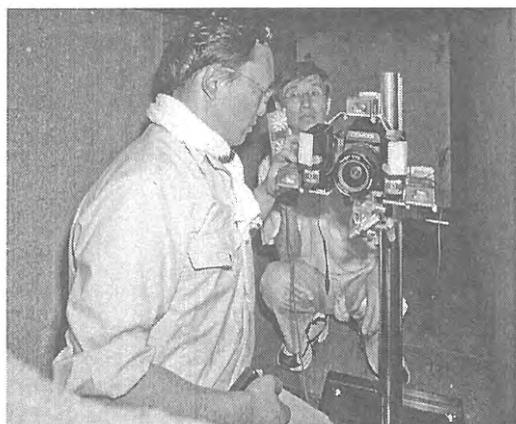
製作した架台装置に3900万画素（キトラ古墳は1600万画素）のデジタルカメラを装着して撮影することとなるが、撮影に必要な操作自体はキトラ古墳と同じく石室外で遠隔撮影の手法をとる。これは石室内で作業をする人間がすべての操作をおこなうことによって負担が大きくなり、事故を起こす確率が高くなるからである。この場合の事故は国宝の損傷であり、あってはならないことである。石室内では床以外の部分に完全非接触で作業を行わなければならない。

#### 撮影作業

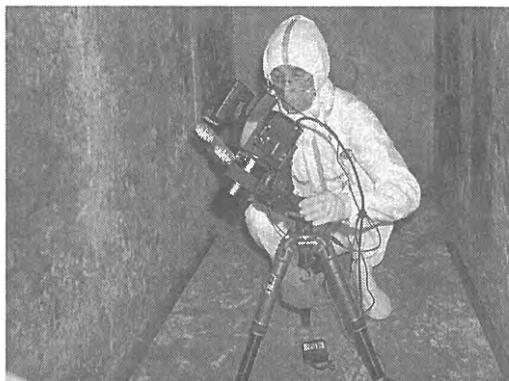
実際の撮影をおこなう前に、不測の事態を避けるためにできるだけ実地に近い環境でのシミュレーションをおこなった。高松塚古墳の場合、石室解体作業検討のために京都府加茂町に実物大の石材を組み合わせた実験場が設置されていたので、その石室内にてカメラ動作シミュレーションや撮影作業のシミュレーション、機材設置の訓練などをおこなうことができた。実際にこのシミュレーションをおこなったことによって特注機材の不具合や撮影作業時の問題点などを洗い出すことができ、本番でのトラブルを未然に防ぐことができた。

こうした準備作業を経て本番のフォトマップ撮影に入ることになる。本番ではまず標定計測用のスケール入り画像を撮影した上で、キトラ古墳と同じく撮影範囲の概略図を作成し、逐一確認しながら詳細画像を撮影することになる。今回は40cm×60cmの画角で撮影をおこない、画像の中でレンズ歪みが少ない20cm四方の部分を取り出してマッピング用画像とした。

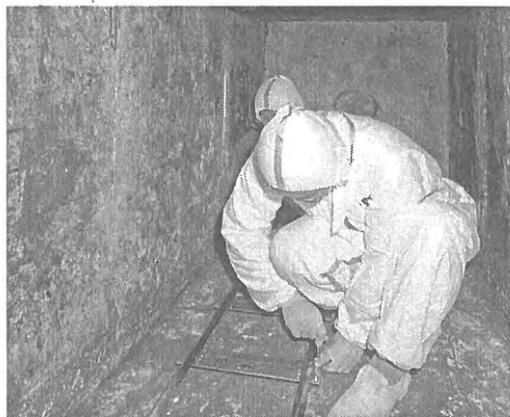
撮影枚数は、東西壁で約80カット近く、天井・床面



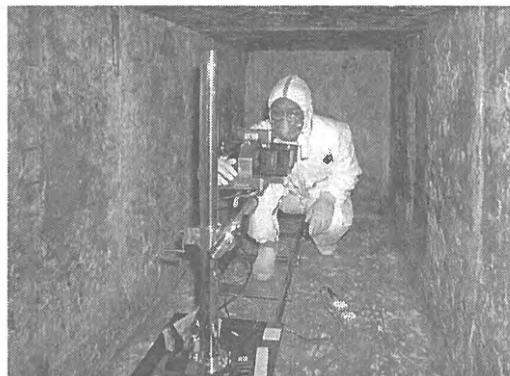
実験場でのシミュレーション



標定計測用の画像を360度全周分撮影する



石室内に平行移動用のレールを設置



3つの測距機でカメラを壁面に正対させる



画角などをモニタしながら石室外でシャッターを切る



フォトマップ成果品データを展開図におこす

で約70カット近く、南北壁面で30カットほどであり、各カットにつき画像のノイズ発生時のバックアップを確保するため2ショット撮影とし、計算では正対画像撮影が約750ショットほどとなる。また、標定計測用の画像を約200ショットほど撮影するため石室内で合計約1,000ショットほどの写真撮影を計画した。

実際の撮影作業では綿密なシミュレーションをおこなっていたにも関わらず低温・高湿度の環境が影響して架台部分などに不具合が出たが、バックアップの機材や補修部品を確保していたことで作業の停滞は回避することができた。

石室内での作業は、壁画保護のため内部温度を常に監視しており、上昇傾向が見られると作業中断のルールがある。作業は1人が継続して行くと肉体的・精神的疲労から事故の可能性が高くなる。これを回避するため、石室内作業のカメラマンは私と井上専門職員の2人交代体制でおこなった。心がけて冷静に作業をおこなったためか温度上昇もほとんど無く、中断したのは1度だけであった。

特注機材の精度は非常に高く、思うように撮影することはできたが、壁画面まで最短約3cmまで接近しないと撮影できないカットもあり、万が一に備えてワイヤーで補助的にカメラを支える改良なども加えた。

1日の作業時間は約7時間で作業日数は合計5日間に及んだ。作業分担は石室内カメラ操作が2名、盗掘抗より石室内作業を監視する監視員が1名、カメラから送られたデータをチェックする要員が1名、ファインダーをモニタしながらシャッターを切るカメラマンが1名の5人体制で現地作業をおこない、前日の撮影データをチェック・整理する人員を調査事務所において合計6名で全体の作業を進めた。

デジタル画像によるフォトマップ作成の撮影が無事終了したのちに、より客観的な証拠性のある写真資料を作成する意味で各壁画の大判カメラ撮影もおこなった。それぞれのフィルムには色彩再現用のカラーチャ



カラーチャートを写し込んだフィルム撮影の「飛鳥美人」

ートを写し込んであり、撮影時点での色調を極力正確に再現できるアナログ写真も確保した。

このようにキトラ古墳・高松塚古墳壁画の写真記録においては、これまでに例を見ない精度で記録を残すことを求められた。また、その後石室解体・発掘調査がおこなわれた高松塚古墳では全過程において詳細な写真記録が必要とされたため、その約8割はデジタル写真での記録、大判アナログ写真は調査の区切りのみ撮影という方法で撮影を行うこととなった。

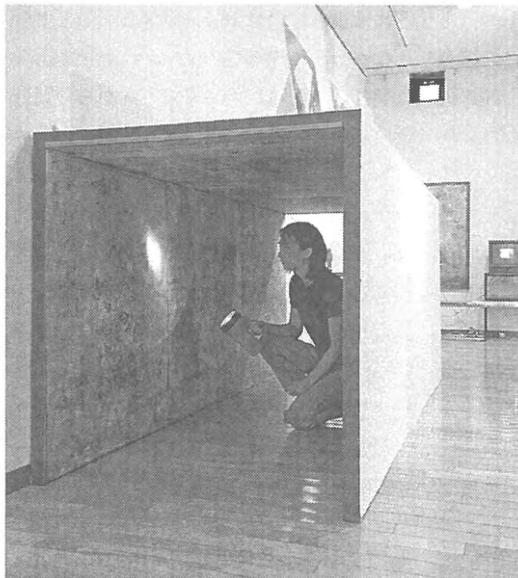
#### 4. フォトマップ・古墳写真の公開と活用

文化財の写真は、保管・保存の手段を講じた後に公開活用をおこなうことになる。フォトマップ撮影は、作成目的が発掘・解体調査の参考資料と壁画の精密記録であるが、一方で積極的な公開活用も求められる。

作成したフォトマップ画像はキトラ古墳・高松塚古墳とも、原寸大のパネルを作成してそれぞれ広く研究用資料として活用されることを目的に報道公開をおこなった。また、一般向けには原寸大石室模型を作成して写真室企画の飛鳥資料館企画展「ときを撮す」において、石室体感展示をおこない好評を得た。

ほかにも、石室内の動画記録などは撮影が不可能なため、フォトマップによって得られた画像をハイビジョン画質にて石室の3Dデータにテクスチャマッピングをおこない、フルハイビジョン動画として石室内をリアルな映像で紹介するソフトを制作、研究所の資料室にて一般公開をおこなっている。

実用としては、現在おこなわれているキトラ古墳壁



一般向けの公開として企画展示をおこなった

画保存修復のためのはぎ取り処理や、高松塚古墳の壁画保存修復において処理前の正確な壁画状態を示すデータとして活用されている。

また、画像処理によって作成した寸度再現がされているフォトマップ画像は巨大な画像ファイルとともに巨大な画像を分割保管し、再構成して高精細画像を軽快に表示するイパレットネクサスと呼ばれるソフトウェアで活用している。これにより修復現場にて高精細画像が効果的に運用可能となり、修復作業の幅を広げることにつながった。

原画像の保管に関してフォトマップ画像処理をおこなう前の撮影RAWデータは部位を示すファイルネームを付与し、テキストベースの表形式データベースを作成した上で安全性の高いストレージに格納している。これにより、後の部分的な検討や色調・歪みの検証などに元データが必要になった場合、目的の画像をすぐに探し出すことができる。文化財写真をデジタルデータで作成した場合は、できるだけ恒常性の高いフォーマットで画像を残すとともに元データまで含めて保管し、それを必要なときにすぐに引き出すことができるオープンな形のデータベースが必要である。

#### 5. 文化財デジタル写真画像の保管・長期保存

キトラ古墳・高松塚古墳の事例で紹介したように、文化財の写真記録においてもデジタル写真画像の利用は近年増加傾向にある。これまで文化財の写真記録には、その保存性に関する実績や保存方法が確立されていることなどからアナログ写真による記録を主に採用してきた。しかし、今後はアナログ写真材料の製造停止や廃止が進み、デジタル写真が更に進歩することは確実である。早急にデジタル写真運用に関する指針が必要で、筆者も所属する文化財写真の撮影から保存活用まで含めた研究会である「埋蔵文化財写真技術研究会」において現在は次の5項目からなる指針を普及させている段階である。

##### デジタル文化財写真保管運用のガイドライン

- 1, 高品質のデジタル画像データを取得するために最善の方法を講ずる。
- 2, 正確で公正なデジタル画像データを取得するために最善の方法を講ずる。
- 3, デジタル画像データに信頼性を損なうような改変をおこなわない。また、改変をおこなうことが困難な方法を講ずる。
- 4, 文化財デジタル画像データは広く公開し、資料と

して活用できるように努める。

- 5, 文化財デジタル画像データを将来にわたり有効な資料として活用できるようデータの保存管理に關して最善の方法を講ずる。

以上のガイドラインを具体的に運用する指針として以下の内容を掲げる。

～デジタル文化財写真における指針～

- 1 高品質なデジタル画像データとは、被写体について将来の観察・検証に耐えうる解像度を備えた写真画像データである。この場合の解像度とはピクセル数に依存するのではなく被写体ごとに必要な情報量とそれを表現するライティングがなされている画像データであり、闇雲にピクセル数が多くてもブレた写真・ボケた写真・適切でないライティングの写真などは意味をなさない。
- 2 正確で公正なデジタル画像データとは、写真画像を正確に再現できる写真画像データである。被写体を誰も知らなくなった将来においても、色調や歪みに関してそれを最大限復元できるターゲットが写し込まれており、誰もが元の被写体を観察・検証できる写真画像である。
- 3 デジタル画像の改変に関しては、悪意があれば改変することは容易であり、それを防ぐことは技術的に困難である。ただし、これに関しては銀塩写真においても同じであり、文化財写真を扱うものとしての自覚とモラルに依存するのみである。最大限改変をおこないにくいワークフローの構築と規制作りが必要である。
- 4 デジタルデータの利点である公開普及をおこないやすい点を最大限に生かし、1・2で挙げるような高品質で正確なデジタル画像データを広く公開普及することが真の「デジタルアーカイブ」である。ワークフローの構築には「公開・普及」に関する扱いやすさも含めなければならない。
- 5 デジタル画像データはアナログ画像と異なり、再現環境がないと基本的に不可視のものである。データの消失は常に隣り合わせである現実をふまえて最大限にファイルの安全性を確保した環境において可能な限り次世代での検索・使用が可能となるようデータベースの構築をおこなった上でデータを保管することが望ましい。

(『埋文写真研究 Vol.18』研究会デジタル部会 埋蔵文化財写真技術研究会刊 2007年 P50-P52 デジタル文化財写真の模索)

埋蔵文化財写真技術研究会は研究会内のデジタル画像問題部会にて、このガイドラインやワークフロー作りを進めている。また、デジタル画像を撮影・作成するにあたって必要な色調・歪みの検証用写し込みチャートの制作作業をおこなっている。しかし現段階ではデジタル文化財写真の運用は各機関・個人に委ねられたままである。この状況で時代の流れという大義名分のもと早急にデジタル化を進めてしまうと取り返しのつかない自体に陥る可能性が高い。

このような流れの中でせめてもの遵守点として、指針にあるような内容をもとに高精度・高品質な画像データを撮影し、画像データには後の時代に画像の色調や歪みなどが検証可能な対策が施されている点を重視したデータを作成しなければならない。また、撮影・作成した画像データは改変が困難な処置を施し積極的に公開普及をおこなわなければならない。その上でオリジナルファイルの消失や再生不可能な状況を回避するためにデータベースの構築とストレージによる分散保管が最低限必要である。

## 6. おわりに

キトラ古墳・高松塚古墳をはじめとする飛鳥の遺跡は、人々のそれらを守ろうとする意志のなかでこれまで発掘調査がおこなわれ、その記録の保存や現地遺構の保存が進められてきた。その中でも最重要級の古墳たちを解体するにあたり、現在できうる限りの記録方法が採用され、フォトマップ撮影などがおこなわれることとなった。同時にそれは文化財写真のデジタル記録の方策を考えることにつながり、今後の活用まで含めた試金石となったことは間違いないと考えられる。

過渡期的な現在の状況は、あらゆる方向からの開発が乱発的に進められているが、デジタル情報を長期に安定して保存し、それを将来にわたって再生できるフォーマットやワークフローに関しては置き去りにされたままである。今後は文化財的なデジタル画像の作成・保存方法に関してさらに突き詰める必要がある。

おわりにあたり本稿をまとめる契機をいただいた井上直夫氏、写真作成にご協力いただいた岡田愛氏、共にフォトマップ撮影を進めた(株)堀内カラーの皆様や鎌倉綾氏には大変感謝いたしております。

<奈良文化財研究所 企画調整部写真室 中村一郎>

# ウォークスルーCGを利用した情報の可視化

## Of the information that used walk-through CG is visible

木村 寛之

Hiroyuki Kimura

株式会社イビスク 文化財調査本部 技術センター, 大垣市築捨 3-102

Ibisoku Co., Ltd. Cultural assets investigation headquarters technology center

3-102 Tukidutecho, Ogaki, Gifu

宇田 晃

Akira Uda

有限会社アシストコム, 名古屋市金山 1-9-19

Assistcom Ltd. ,

1-9-19 Kanayama, Nagoya, Aichi

**あらまし:** - ウォークスルーCGで赤坂宿(中山道)と関ヶ原合戦を再現

ウォークスルーCGに時間軸を加え、考古学・史学で利用できるシステムを開発。このシステムを利用して高度な情報を解りやすく一般の方へも公開できるコンテンツを事例で紹介。

**Summary:** - The Akasaka posting station and the Sekigahara battle are reproduced by walk-through CG -

The time axis is added to walk-through CG, and the system that can use it by archeology and the history is developed. The advanced information disclosure contents using this system are introduced with an example.

**キーワード:** 公開技術, 立体モデル, 可視化, CG・VR, ウォークスルー, GIS

**Keywords:** Public technology, Solid model, Visualization, CG・VR, walk-through, GIS

### 1-0. はじめに

文化財・考古学・史学などを研究支援及び研究結果を公開できるツールとして、VR（バーチャル・リアリティ）技術の中でもウォークスルーは着目されている。私達もWeb対応のウォークスルーを利用するにあたり、GISのように時間軸をウォークスルーに組込めないかと研究開発を進め、時期（鎌倉・江戸など）という大きな区切りで時間軸を組込んだ4次元ウォークスルーとして「中山道 赤坂宿」を開発(2004)し、Web公開を開始した。岐阜県域統合型GIS連携地理情報システム有効活用実証実験で「ウォークスルーCGとWeb地図との連携」の技術提案が採択され岐阜県域統合型GISとの連携を開発(2005)しWeb公開している。

新たに合戦のような時間の経過を表現できるウォークスルーとして「関ヶ原合戦3D絵巻」を開発(2007)した。

システムではWeb版4次元ウォークスルーを利用して、VR技術やインターネットを利用したサイバー展示室を研究している。

### 1-1. 情報の可視化とは

情報の可視化とは、簡単に言えば情報を人間が理解しやすい形で提示すると言う事である。身近なものでは地図や天気図の等高線で、地形形状や天気の状態が標高や気圧の数字情報より等高線図形の方が分かりやすい。

考古学・史学も同じで膨大で多種多様な集積された情報を目的に合わせて視覚的にみせる情報の

可視化は、研究者も一般の方々にも目的に応じて利用できる技術である。

### 1-2. ウォークスルーCGとは

3次元グラフィックスで構成された地形や建物及び人物・動植物などの仮想モデル空間内を、マウスなどのポインティング・デバイスを利用し操作者の視点を画面上に表現するVR技術のひとつ。

パスと言われる移動する経路に沿って動くタイプもウォークスルーの一種であるが、最近ではモーション・パス・アニメーションと言って区別する場合もある。私達はこのパスも利用者にとっては重要な支援技術と考えている。

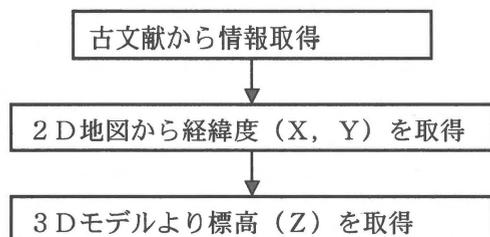
ウォークスルーは、主に家や都市空間の設計サンプルについてプレゼンテーションを行う際に用いられる。

### 1-3. 歴史に関する情報について

歴史的情報を考えると「いつ(時代や年代)・誰が・どこで(場所)・何を」の歴史情報が得られる。この「どこで=位置(X, Y・経緯度)」、「いつ=時間」、「誰が=属性」、「何を=属性」となりGISに利用できる事は周知の事実である。同じく古文書なども直接的に歴史情報が得られる場合もあるが、間接的に文献内の人名や地名(当時の読み方)・事件などから時代・場所の歴史情報の推測が可能である。

ウォークスルーCGは3次元データを必要とするため、標高データが必要になる。そこで歴史的情報で場所情報が得られれば、特定できる場合や大まかな場合においても地図上へ位置を示す事が可能になり、この時に3次元の地形モデルを利用することで位置情報から標高を取得する事が可能になる。

よって歴史的情報は「X, Y, Z, 時間, 属性」を持っていると言える。



図表1：情報の取得順の概念

### 1-4. ウォークスルーCGで歴史を表現する

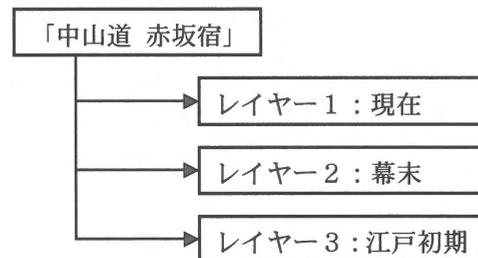
ウォークスルーCGを利用して歴史情報を可視化するために必要な技術を紹介する。

#### (1) 時間

最初に着目したのが、歴史=時間である。考古学・史学など時代は必要な情報であり、考古学・文化財仕様のGISでは時間を扱える種類もある。これと同じような機能がウォークスルーCGでも必要と考えた。

ウォークスルーCGは3次元データである。これに時間軸を追加した「4次元ウォークスルーCG」として研究開発を行ってきた。

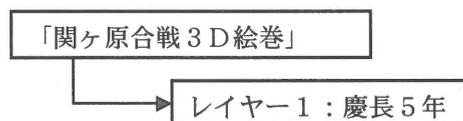
最初に「レイヤー型」4次元ウォークスルーCGを開発した(2004)。ウォークスルーCGにGISやCADと同様なレイヤー構造を持ち込んだ。簡単に説明すると「レイヤー1：平成」・「レイヤー2：幕末」・「レイヤー3：江戸初期」という各レイヤーにその時代のコンテンツを作成し、必要な時代を操作により選択表示できる機能を開発。これを利用して「中山道 赤坂宿」を製作した。



図表2：「レイヤー型」の構造

次に開発したのが「モデル型」4次元ウォークスルーである(2007)。「レイヤー型」が建物など経年変化などの時代・時期を表現するのを得意とするが、「モデル型」は時間経過で表現される合戦などを再現するのが得意である。

「モデル型」は、レイヤー内の3Dモデル・コンテンツが時間経過により位置を変化させる仕組みで実現した。この技術はCGアニメーションのタイムチャートの応用である。これを利用して「関ヶ原合戦3D絵巻」では部隊の動きを時間経過で再現した。



図表3：「モデル型」の構造

「中山道 赤坂宿」では約400年間の宿場の町並みの移り変わりを再現、「関ヶ原合戦3D絵巻」では慶長5年(1600)9月15日の1日を再現したものである。このように表現する時間の長さにより利用する技術を選択する必要がある。今後は「レイヤー型」・「モデル型」を融合したコンテンツ作成も考えられる。

### (2) 地理情報の表示(地形の表現技術)

3次元の地形データを利用し指定地点からの可視領域を作成して研究する事もGISでは利用されている。ウォークスルーでも3次元の地形データを利用するため、同じく可視領域の研究が可能である。また、街道・城下町・城郭・合戦を再現する上で、地理条件は遺跡立地の大きな要因であり、合戦なども地理的条件は戦局を左右する要因になっている。

よって地形データは重要で、出来る限り往時を再現する必要がある。そのため河川や谷・丘陵の形状を出来る限り再現をした。ただし、Webでも公開できるシステムを基本的としているので、データを少なくする工夫も必要である。

また、航空写真画像や地図画像及びGIS等で作成した土地利用などの主題図画像を地形データに重ねて利用することで情報量を高めている。

更に仮想空間内の位置を把握するために、ランドマークとしても利用できるように、名称の旗揚げ機能がある。

### (3) ユーザーインターフェイス

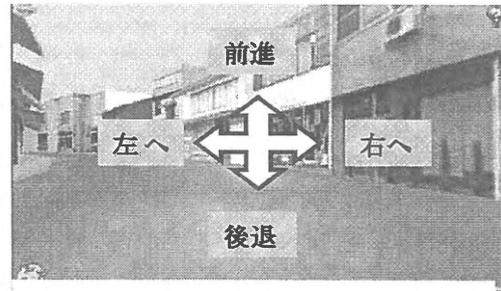
ウォークスルーで公開するという事は、利用者に操作してもらうことになる。よって動画と違い利用者の意思で表示場所を変えるため、ユーザーインターフェイスは重要となる。この部分は展示会などで実際に利用者に操作してもらい、意見も取り入れながら改良を加えてきた。その中から基礎技術として見えてきたものが3件ある。「ユニバーサル・デザイン」・「パスによる移動」・「人間行動学」であるが、全て人間工学に起因している。

#### 1) ユニバーサル・デザインの利用

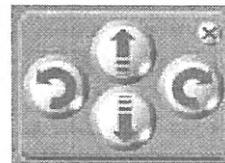
最初に開発した街道を歩く「中山道 赤坂宿」では、当初はマウスの動きで移動を制御した(画像1)。操作説明書を付属し、更に操作説明をしても全ての人々が自由に操作できるとは言えない。

そこで誰もが見慣れているデザインで「前へ進む」・「回転」などのボタンでの操作を追加した

(画像2)。これにより、簡単な操作説明で多くの方に利用されるようになった。特に小・中学生は画面を見ただけで使いこなせる状態になる。この研究では、ユニバーサル・デザインを利用すれば、操作マニュアルは不要に近いと分かった。



画像1：画面中央を境に、マウスで制御



画像2：操作ボタン

画面中央を基準にマウスで操作する方法は、3D関連のソフトを利用している方にとっては通常操作である。しかし一般の方が3D関連のソフトを使うことは少なく、3次元モデルを操作することが一般的でない。逆にゲームの普及でジョイスティックのようなイメージによる操作が一般的である。このようなポインティング・デバイスの研究も重要である。

#### 2) パスによる移動

パスとは、「1-2 ウォークスルーCGとは」で説明したように、モーション・パス・アニメーション技術は仮想空間内を決められたコースに沿って移動する。このコース情報をパスという。

ウォークスルーは自由に仮想空間内を移動することに意義があり、パスによりコースが決められるのはウォークスルーの特長が無くなると、CG関連技術者やIT技術者から助言があった。しかし、利用者からの意見ではパスの要望が多く、パスによる移動機能を実装した実証実験の結果においても利用者の評判は良かった。したがってユーザーの意見を優先してパス移動を実装した。

#### 3) 人間行動学の研究

パス移動の案件は、「中山道 赤坂宿」のウォークスルーを一般の方に公開して、すぐに発生した問題であった。ところが「関ヶ原合戦3D絵巻」

ではバス移動の要望は一切聞こえてこない。このことを考えると、ユーザーから見れば、「街道＝道を歩く」となり、道を目的地場所へ向かって歩くことがバス移動とマッチングしていると考えられ、ウォークスルーで表現される街道画像が、歩く人物の視点に重なったと思われる。

これに対して関ヶ原合戦では、ある武将が見た可視領域の機能が好評である。これは、合戦において武将は敵味方の武将の位置や戦局の把握をする。この行動を仮想空間で再現された関ヶ原合戦に利用者が感情移入したと考えられる。

この現象はウォークスルーで表現される仮想現実が利用者には現実と認識しており、公開システムとしては有効であると証明できた。

このことから人間行動学や人間工学を取り入れる事は、ユーザーインターフェイスでは重要な要素となる。操作に手間取り現実の世界へ引き戻す事が無いように今後も重要な研究課題である。ある意味ユニバーサル・デザインも人間工学だと思われるが、これは長年の生活から反応する条件反射である、よって人間行動学とは違う。日本ではトイレのマークで青色が男性、赤色は女性というのと同じで反復の繰り返しで、一般的になった規格である。この部分は注意が必要である。

### 1-5. 公開するための支援技術

ウォークスルーで制作したコンテンツを公開する技術や、ウォークスルーと連携してより効果を引き出す技術を紹介する。

#### (1) ホームページとの連携

単にインターネットのホームページ上にウォークスルーの画面枠を設定して公開するだけでなく、ホームページ中にウォークスルーを制御するボタンなどを組込んだり(画像3:枠内)、逆にウォークスルーからホームページを制御する技術である。これにより使いやすさの追求と、説明文



画像3

や関連するホームページへのリンクなど公開支援となる技術である。

画像3では、正確に東西南北に向きを変えるボタンをホームページに組込んだ事例である。

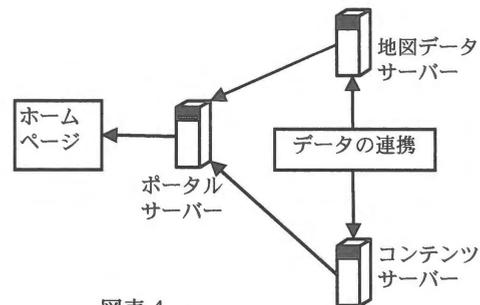
#### (2) Web版2D地図との連携

この機能は岐阜県域統合型GIS連携地理情報システム有効活用実証実験において開発した技術である(2005)。画像4の左側にウォークスルー、右側に岐阜県域統合型GISの地図を配置している。この配置は人間工学的に右脳に入る左目側にイメージであるウォークスルーを配置することで操作する方に安心感を与える。



画像4

機能はウォークスルーの表示位置と方向を地図に表示をする。または地図で指示した位置へウォークスルーを移動する相互リンク機能がある。一種のWeb版3次元GISといえる。



図表4

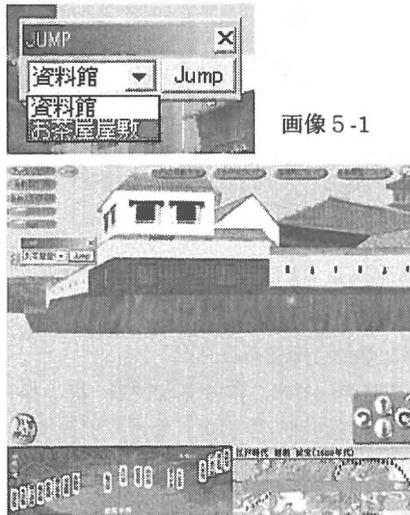
連携と公開の仕組みは図表4のようになり、Web公開型の地図サーバーで公開しているサイトであれば、ほぼ連携が可能になる。よって、大きな敷地面積を有する「吉野ヶ里遺跡」や「三内丸山遺跡」などの施設案内図をWeb化することでも利用が可能になる。ある場所にPCを設置するのでなく、モバイルPCなどを貸出して見学者の位置や年齢などの情報を把握できる装置を施設に設置すれば、見学者のレベルに合わせた案内が可

能になる。また、Web連動のために詳細な資料を閲覧できるサイトを作成しておくことで、現地で更に調べたい方はインターネットでリアルタイムに見学できる。最近の動向では資料館・博物館などで見学した中からお気に入りの情報や写真の印刷サービスの動きがあるが、そのような仕組みにも対応が容易である。

大きな施設と記述したが、市町村全体の観光と文化財で考えるなど可能性は色々ある。

### (3) タグ技術

この機能はウォークスルー内に情報を認識するタグを埋め込み、指定したタグ位置と該当の時代(時間)を表示する機能である。例えば画像5-1で表示するタグを選択すると、画像5-2のようにタグ位置と該当の時代を表示する。



画像 5-1



画像 5-2

また、タグには情報もセットでき、公開支援ツールとして利用できる。セットできる機能としては「詳細な情報閲覧」・「ホームページへのリンク」・「違うデータへの移動」などである。

### (4) 旗揚げ

この機能もGISライクな機能で、属性情報をウォークスルー内に立体的に旗揚げを表示(画像6-1)・非表示(画像6-2)する。またその位置にカーソルを合わせると更に詳細情報が表示できる機能である。



画像 6-1: 武将名の表示有り



画像 6-2: 武将名の表示無し

## 2. 事例紹介

4次元ウォークスルーを利用して、考古学支援、史跡整備・町なみ整備支援、展示コンテンツ、歴史教育支援の利用を目して開発した事例を紹介する。

- 1) 中山道 赤坂宿  
時代ごとの宿場町の移り変わりを再現
- 2) 関ヶ原合戦3D絵巻  
関ヶ原合戦の1日を再現
- 3) 3D遺跡地図  
大垣周辺の縄文～古代までの3D遺跡地図
- 4) 大垣駅前通り(参考)  
店舗紹介コンテンツ(デジタル展示の技術として紹介)

以上4例について目的・機能・特長などを紹介する。特に今年開発した関ヶ原合戦3D絵巻については、詳しく説明する。

### 2-1. 中山道 赤坂宿

#### (1) 概要

中山道 赤坂宿の時代による町並みの移り変わりを、江戸初期・幕末・平成と再現し、3つの時代の仮想空間に再現された各時代の町並みを、自由に時代を選びながら歩くタイムマシンのような4次元ウォークスルー。



画像7：コンテンツ画面

## (2) 利用目的

- ・町並みのシミュレーション。
- ・町並み整備等の事業説明。
- ・観光案内。
- ・資料館の公開コンテンツ。

以上の利用目的を想定している。従来は都市計画図など2次元図面に計画や復原案を描き、イメージとしては一部をパース図で立体的に表現する程度で、知識の少ない一般の方には全容を理解するには少ない情報量である。

また、統一的な町並み整備を行う場合には現在も生活している家屋を利用するため、住民に負担をかける・賛同されない住民の方など解決する課題が多い。更に、現在の建築基準では復原できない場合・国の文化財指定になっており自由に変更が出来ない場合もあり、このような場合に仮想空間を利用した町並み整備は有効な手段となる。

- ・住民の負担軽減。
- ・簡単に町並を再現、変更が容易。
- ・復原モデルを利用した住民への事業説明。

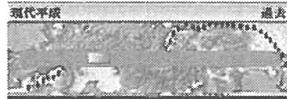
と利用価値は高い。

更に特筆できる点は、往時を再現するために必要な情報として周辺景観や自然再現（古環境）がある。これは、往時は「町から山しか見えなかった」、もしくは「城が見えた」と言われるが、今は「ビルが見える」・「ビルによって見えない」などはよく聞かれる。また、開発等で小山が消えた、河川や池が変化した、草原・広葉樹林の山が植林で杉山に変わった、このような場合において仮想現実が特に力を発揮する。

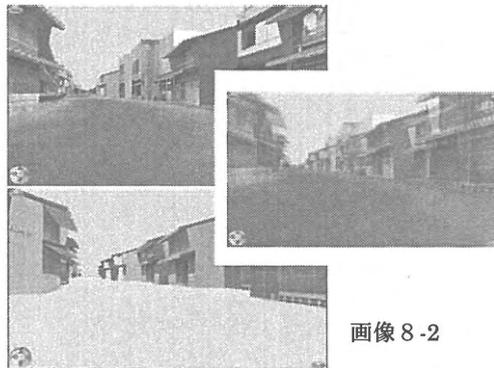
## (3) 特長

- ・時代制御（江戸初期・幕末・現在の切り替え）及び重ね合わせ表示。
- ・自動走行および自動の時代移動。
- ・タグ機能。

最大の特徴は同じ場所で、違う時代の町並みを表現できる点である。スライドバー（画像8-1）を移動することで表示する時代を変化させる、スライドバーのため画像8-2のように両方の時代を重ね合わせて表現できる点が特長である。



画像8-1



画像8-2

## (4) 利用情報

- ・延宝の赤坂宿の古絵図。
- ・現在の大垣市都市計画図。
- ・赤坂町史（幕末の和宮降嫁行列・関ヶ原合戦・御茶屋屋敷の部分参照）など、歴史資料。
- ・国土地理院発行25000 50mメッシュ。
- ・現地調査。

以上の情報を元に、江戸初期・幕末・平成の町並みを再現。今回の情報では店の識別まで不可能で、細部までは作り込んでいない。

## (5) 評価

地元のイベントで展示を行い、中学生が操作を行い見学者に説明をする方法で公開。地元の小中学校の先生や住民からは、住んでいる地域の昔を体験できると高い評価をもらった。小中学校の先生には授業で利用したいと言う声もあった。

視覚的な評価は高いが、高齢者にはPCのソフトと言う点で、取っ付きが難しいようである。意外であったのが、30代の半数近くの方が操作に拒否反応が見られた点であった。

## 2-2. 関ヶ原合戦3D 絵巻

### (1) 概要

慶長5年(1600)9月15日の関ヶ原合戦を、西軍は大垣城から関ヶ原へ移動、東軍は赤坂より関ヶ原へ移動した時から、東軍勝利までを3次元地形上に配置した部隊が時間と共に移動し、戦況を再現するコンテンツ。

合戦の戦況を把握する俯瞰機能や各武将の目線で往時の様子を再現する機能があり、更に雨や霧など自然現象も再現をして一般の方から研究者まで幅広く利用できるシステムである。



画像9：コンテンツ画面

### (2) 利用目的

- ・3次元地形と部隊数から布陣を検証。
- ・部隊の移動を地形と時間から検証。  
(部隊移動を時速6Kmとした)
- ・3次元地形と土地の状況および可視領域から布陣や部隊移動の意味を考える。

関ヶ原合戦は通説以外にも多くの説があり、これらの通説の多くが勝者の目線で書かれた資料であり、各武将が資料によって活躍の記述が違ふなど、多数の説が存在する。今までの通説を新たに発見された資料や敗者の視点での研究が進み、通説の精度を高める研究が成されている。

このような研究に3次元地形と時間を絡めて関ヶ原合戦を検証すると、一連の関連性が取れない場合や、移動開始時刻が見えてくる。このシステムを利用して関ヶ原合戦の説を統一する支援技術となればと考える。

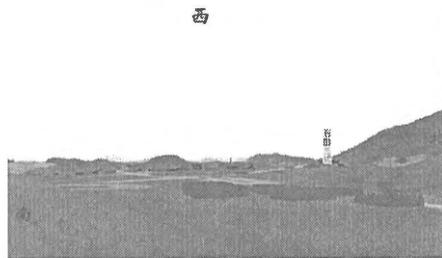
- ・教育システム。
- ・展示システム。
- ・合戦の説明を支援するシステム。

の利用が考えられるが、ウォークスルー技術を利用して、利用する方や説明する方の思いで自由な

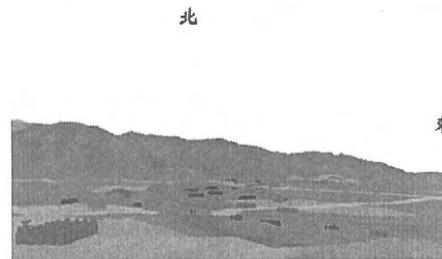
視点で扱えるコンテンツを目した。また、合戦を検証する上で必要と思われる事項を、整理して公開することで、一般の方により理解をしてもらえらる。また、詳しい方はより高度に利用してもらえらると考えている。

### (3) 特長

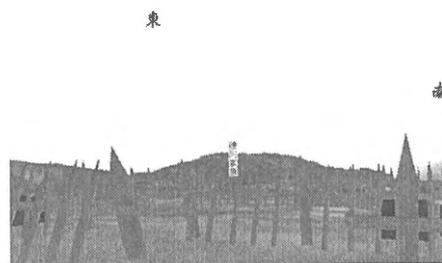
- ・兵力をアイテムの大きさで表現。
- ・時間により部隊を移動。
- ・時間を制御(進む・戻す・イベント送り)
- ・大きな流れをテロップで表示。
- ・戦場を自由に移動。
- ・武将の目線による戦場再現。
- ・検索した武将へ目線に向ける機能。
- ・武将名及び地形の旗揚げの表示・非表示。
- ・自然現象の再現(夜・雨・霧)。
- ・鉄砲の音、烽火を表現。



画像10：徳川家康の見た関ヶ原(開戦時)



画像11：小早川秀秋の見た関ヶ原



画像12：石田三成の見た関ヶ原

画像10から画像12は「武将の目線による戦場再現」と「検索した武将へ目線に向ける機能」

の機能を利用し作成した。武将の旗揚げが1つ見えるのが、検索した武将である。

「検索した武将へ目線向けの機能」の操作する窓が画像13である。この窓には東軍・西軍の色分けと壊滅部隊が分るようになっている。画像13-1と画像13-2では小早川隊などが西軍から東軍へ寝返った動きを色で表現している。このようにいくつも情報を整理し公開することができる。

武将	宇智多保	赤下藤雄	菅田茂	小早川隆	藤原高成	生駒一正	藤田忠雄	成瀬
右衛門三郎	藤原家	藤原家	大谷重隆	赤澤重隆	藤井重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆
藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆
藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆
藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆

画像13-1：武将検索窓

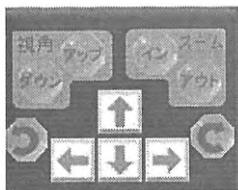
武将	宇智多保	赤下藤雄	菅田茂	小早川隆	藤原高成	生駒一正	藤田忠雄	成瀬
右衛門三郎	藤原家	藤原家	大谷重隆	赤澤重隆	藤井重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆
藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆
藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆
藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆
藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆	藤田重隆

画像13-2：武将検索窓

時間制御と移動制御であるがユニバーサル・デザインを基本としており、それぞれの操作窓は時間制御（画像14）、ウォークスルー制御（画像15）である。見慣れたマークの利用によりマニュアルが無くても利用できる。



画像14：時間制御窓



画像15：ウォークスルー操作窓

#### (4) 利用情報

- ・陣形図。
- ・参戦兵士数。
- ・戦況。

以上は関ヶ原民俗資料館及び市販されている書籍を利用。

- ・国土地理院発行25000 50mメッシュ。
- ・一部現地調査。

#### (5) 評価

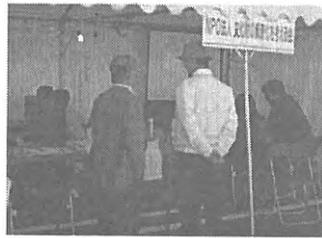
開発の段階で学校の先生、関ヶ原合戦にかかわる関係者には評価は得られた。しかし一般の方に

どこまで受け入れられるか、特にゲーム世代の子供・学生の評価も楽しみであった。写真（画像16）のように関ヶ原町のイベント会場で一般の方に公開し操作をしてもらった。関ヶ原古戦場は古戦場見学を訪れる方も多く、また知識や自分の見解を持って訪れるため、一般の方でもレベルが高い。また、地元の小中学生でも地域学習を行っており、このような方々に興味を持って利用してもらい高い評価を受けた。

- ・3次元地形で戦況を自由に検証できた。
- ・正確な3次元地形と史実に基づいておりゲームより面白い。
- ・理解できなかった書籍の内容が理解できた。

以上のような意見を一般の方から頂き、製作目標を達成できたと思う。

学校の先生、関ヶ原合戦にかかわる関係者の評価は「多くの情報を整理して表現されているので良い資料」であった。矢印で示す従来の説明図と比べ小学生でも理解が早い、関ヶ原合戦を説明する時にコンテンツを利用して説明を行ってみたいと評価を受けた。

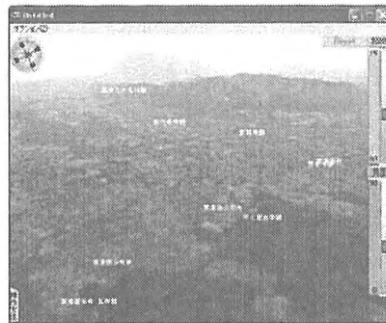


画像16：イベントでの公開風景

## 2-3. 3D遺跡地図

### (1) 概要

3次元の地形モデルに遺跡位置を配置した立体的な遺跡地図である。背景画像は地形モデルから簡易的に、各時代の海岸線を再現したイメージ画像を利用し、時代ごとの古環境を含めた歴史の推移を再現（現在Web版を開発中）。



画像17：コンテンツ画面

## (2) 利用目的

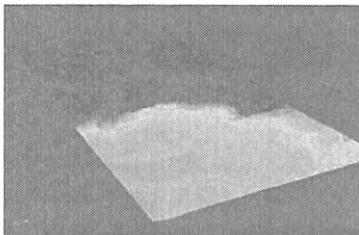
従来の遺跡地図は、地図に包蔵地範囲を示し遺跡の管理や開発管理などの行政業務が主な目的である。2次元的な利用として地域の遺跡分布図に利用される事もあるが、殆どの場合に必要な情報を抽出したり追加したりして作成しているのが現状である。

そこで、考古学・史学の利用を目的とした3次元の遺跡地図を作成した。以下のような使い方を想定している。

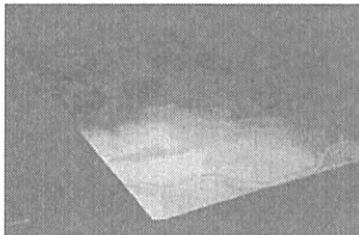
- ・地形を考慮した遺跡立地の研究。
- ・情報を集積して古地形・古環境を復元。
- ・遺跡の可視領域からの検討。
- ・公開するときに情報量を整理して一般の方への情報提供。

## (3) 特長

- ・遺跡位置の立体表示。
- ・古環境の表示。
- ・時代の推移を表現。



画像 18 : 縄文初期



画像 19 : 弥生

画像 18、画像 19 は、現在の 3 次元地形モデルから擬似的に作成した各時代の海岸線を利用し、遺跡との関連性を検証した事例である。(旧システムで作成)

## (4) 利用情報

- ・岐阜県遺跡地図。
- ・各市町村の文化財関連の書籍。
- ・国土地理院発行 25000 50mメッシュ。

## (5) 評価

擬似的な海岸線の復元や現在の 3 次元地形データは、広域の研究には利用できる。しかし詳細な遺跡立地での利用となると、消滅や変化した地形や環境を復元する必要がある。考古学・史学に利用するには、古環境の復元が先決である。更に 2 次元の地図では見えなかった事が 3 次元地形で見えてくる事がある。情報を整理して表示する事で、古地形・古環境を復元する支援システムとして 3 次元遺跡地図の利用も考えられる。

## 2-4. 大垣駅前通り(参考)

### (1) 概要

岐阜県大垣市の大垣駅前通りの一部を、ウォークスルーと岐阜県域統合型 GIS を利用して、商店街を紹介するコンテンツ(岐阜県域統合型 GIS 連携地理情報システム有効活用実証実験で開発:2005)。



画像 20 : コンテンツ画面

### (2) 利用目的

2次元より3次元で視覚的に店舗を紹介。

### (3) 特長

- ・検索した店をウォークスルー(バルーン)とWeb地図(赤枠)に表示。
- ・ウォークスルーに検索した店の方向を指示。
- ・店情報はデータベースを利用。

### (5) 利用提案

史跡施設の案内や文化財や資料館および観光施設を案内するコンテンツとして、3次元で視覚的なウォークスルーを利用してはどうだろうか。

また、仮想現実の博物館や美術館として現実の施設の補助的な仮想施設、もしくは仮想現実の施設をメインとして構築も考えられる。

## 3. 4次元ウォークスルーの利用提案

ウォークスルー・エンジンはWeb対応で対戦型ゲームなどにも利用される技術で、現在Web

で利用できる機能と連携が可能のため次のような利用を考えられる。

- ・Web公開型の発掘成果報告。
- ・資料館、博物館等のVR案内。
- ・Webを利用した住民参加型のコンテンツ。
- ・仮想現実の資料館・博物館・美術館。

などである。最近はICタグなどを組み込んだ入場券などで、展示物の起動や大人と子供に合わせた説明に変化する技術の導入も始まった。このようなシステムとウォークスルーを連動して館内全体を仮想空間とする展示も可能である。

#### 4. デジタル・コンテンツの利点

デジタル・コンテンツの利点を提示する。

- ・3Dデータの変更が容易。
- ・制作費、維持管理が安価。
- ・多数の復原案の提示が容易。
- ・IT技術と連動した展示が容易。

などの利点がある。

しかし、実際に復原建造物を復原する場合は、

- ・建築費用や用地の確保などが不可欠。
- ・実物では複数案の提示は不可能
- ・新たな発見などによる変更が難しい。
- ・修繕などの維持管理費用が発生。
- ・現在の建築基準により、完全に往時を再現することが不可能な場合が発生。

と言った条件を解決する必要がある。確かに実物大の復原による実体験は有意義である。また城郭などは観光の目玉にもなる。その為に史跡整備委員会などで維持管理まで含めて審議がなされている。最近では古代寺院の復原などで門や築地塀の一部を実際に復原する場合がある、このような場合にVR技術を利用し復原されていない部分を現地で仮想体験できるなど、実物と仮想現実の組み合わせによる展示を提案したい。

#### 5. 立体復原モデルの留意点

数年前の史跡整備では、建物などを復原せずに見学者の想像を引き出すような展示が中心であった。近年は部分的にでも建物を復原して見学者の想像を支援する展示に変化した。しかし、復原建造物は見学者にインパクトを与える。そのため建造までに発掘成果や研究成果を基に史跡整備委員会などで審議がされ、復原精度の高いものにし見学者により正確な情報を提供する必要がある。

仮想空間で利用する3次元モデルによる立体復原も、資料館で公開または関連するWebで公開

する事で、復原建造物と同じく見学者にインパクトを与える。

よって、公開までには復原建造物と同じ工程をとり、より正確な情報を提供する必要がある。

またWebやCD-ROMなどのメディアで提供も可能であるが、3次元モデルだけが一人歩きしないよう注意が必要である。

#### 6. ウォークスルーの今後の課題

仮想空間内で再現された町並みで仮想現実を体験するには、通りを行き交う人馬や風などの生活環境が必要になる。ウォークスルーは自由に動けるため、人馬などを配置するだけでは逆に変な印象を与えてしまう、Webで公開するためにもシステムに負荷をかけない方法を研究している。



画像21：人物を配置した試作

#### 7. 参考文献

- ・市販データを用いた簡易立体地形モデルの作成  
—地形と遺跡立地の関係を探る—  
木村寛之・生方美菜子・兼康保明  
日本文化財科学会第19回大会(2002)
- ・時間軸のある4次元ウォークスルーCGの開発と利活用研究  
—インターネットによる  
バーチャル資料館にむけて—  
木村寛之・宇田晃  
日本文化財科学会第24回大会(2007)

#### 8. その他

- ・システムの一般公開支援：  
NPO法人 文化財の資源化を考える会
- ・復原と復元の使い方：  
復原：建造物など、復元：古環境・古地形を採用。

今回紹介した「中山道 赤坂宿」・「大垣駅前通り」は、株式会社イビスクのホームページ (<http://www.ibisoku.co.jp/>) の「岐阜県 街ナビウォーク」から利用できます。

# WebGIS のアクセスログによる地理学的研究の可能性

## —バーチャル京都 3D マップを事例に—

### On the Possibility of Geographical Studies Using a WebGIS Access Log Record: The Case of the Virtual Kyoto 3D Map

瀬戸寿一・桐村喬・渡辺広織・矢野桂司

Toshikazu Seto, Takashi Kirimura, Koru Watanabe, Keiji Yano

立命館大学 文学部, 京都市北区等持院北町 56-1

Ritsumeikan University, 56-1 Toji-in-kita-machi, Kita-ku, Kyoto

**要旨:**本研究は WebGIS サイトのアクセスログを対象として, 地理学的な分析手法を検討するものである。地理情報を持ったアクセスログは, 現実空間におけるサイトの普及過程やバーチャル空間上でのアクセス範囲の推移を示すことができる。本研究では, 立命館大学地理学教室で運用されている「バーチャル京都」Web サイトを用いて, 当サイトへのアクセスポイントの空間的拡散と「バーチャル京都 3D マップ」内の地理的な参照位置の空間的分布を明らかにする。

**Summary:**We propose a geographical analysis method using access log record in a WebGIS site. The access log record with geographical information shows the location of accesses to the web site in both of real and virtual space. In this paper, using the “Virtual Kyoto” Web site constructed at Ritsumeikan University, we investigate the spatial diffusion of access points to this Web site, and the spatial distribution of geographic reference positions using “Virtual Kyoto 3D map”.

**キーワード:** Google Analytics, Web3D-GIS, アクセスログ, バーチャル京都

**Keywords:** Google Analytics, Web3D-GIS, Access logs, Virtual Kyoto

#### 1. はじめに

本研究は, 現在 WebGIS サイトとして一般公開されている「バーチャル京都 3D マップ」[1][2]を具体例として, WebGIS サイトにおけるアクセスログの収集方法の検討と, ログデータを用いたサイトへのアクセス動向を時空間的に分析することを目的としている。

インターネットを通じた地理情報配信は, 個人の PC 利用とインターネット環境が全世界規模で爆発的に増普及し始めた 1990 年代より試みられた。プリュー (2001)によると, 世界初の地理情報配信システムは 1993 年に公開されたゼロックス社パロアルト研究所 (PARC) の「PARC Map Viewer」であり, この後, 官公庁や大学を中心とする様々な機関でシステム構築が進められてきた[3]。

日本国内におけるインターネットを通じた地理情報配信は, サイバーマップ・ジャパン社が 1997 年に公開した「Mapion」が最初の事例とされている[4]。その後の

情報技術革新とインフラ整備に伴い, 大容量の地理情報データをサーバー内に構築し, 高速通信を用いた配信が急速に進んだことによって, Mapion に次ぐサイトが相次いで公開された。

この過程は, 地理情報を単に Web 上で提供するだけでなく, 一定の空間分析機能を備えた WebGIS と呼ばれるサイトについても見られた。WebGIS 技術は, スタンドアロン型の GIS ソフトウェアに比べ機能的には制限されているものの, Open Geospatial Consortium (OGC) の「MapServer」や Autodesk 社の「MapGuide Open Source」をはじめとするオープンソース型のソフトウェアやアーキテクチャーの開発に伴い, 近年急速に展開されている。

WebGIS を含む地理情報配信サービスの一般ユーザーに対する普及は, 2005 年 2 月に米 Google 社によって一般公開された「Google Maps™」で爆発的に広まった[5]。「Google Maps™」の最大の特徴は, サービ

スのコアとなる API (Application Program Interface) を無料で公開した事にある。つまり Google Maps API に準拠して書かれた JavaScript を含む HTML ファイルを Web サーバーに格納するだけで、オリジナルの地理情報を含んだ背景地図付きの Web サイトが配信可能となったのである。さらに、2005 年 6 月に地理情報の 3 次元表示と幾つかの空間分析機能を含めた「Google Earth™」がアプリケーションとして一般公開され、2 次元だけでなく 3 次元の地理情報配信についても、近年急速な進歩を遂げてきた。

このように、WebGIS を含む地理情報配信サイトは、情報量としても、空間分析ツールとしても多くの内容が提供されている。ところが、WebGIS サイトの構築に関する技術的な研究に比べると、サイトがどのようなユーザーに閲覧され、どのような範囲や地点を閲覧しているかなどの WebGIS サイト自体を対象とした研究は平松ほか(2000)以外には管見の限り見られない[6]。また、オンラインゲーム研究の分野でユーザーの行動記録に関する研究がすでにみられるが[7]、Web アクセスログを研究対象とする分野においても他の分析手法に比べると研究が進んでいない現状にある[8]。

以上の研究動向から、本研究は立命館大学地理学教室で運用されている「バーチャル京都」のアクセスログを対象として、地理的な分析を可能とするログ収集方法についての検討と、実際の分析事例を提示する。

## 2. バーチャル京都の構築と配信技術

発表者が所属する立命館大学では、2002 年より立命館大学 21 世紀 COE プログラム「京都アート・エンタテインメント創成研究」の一環として京都市街を対象として GIS と VR を活用した、都市景観の 3 次元復原に関する研究を進めてきた。京都は歴史都市として数多くの名所・旧跡があり、歴史資料も豊富に現存するため、3 次元都市モデルでの復原に加えて時間軸をも含めた 4 次元 GIS の構築についても研究を進めてきた[9]。さらに Web3D-GIS 技術が実用段階に進んできたことから、「バーチャル京都」が学内での実証実験を経て、2007 年 1 月に一般公開された[10]。これには、立命館大学が作成した各種の地理情報データや 3 次元コンテンツのほか、3 次元都市モデルとして高精度なレーザー測量データと 2 次元のベクター地図を元に構築された「MAPCUBE®」データを用いることで、より現実に近いバーチャル空間を復原することに成功した。

バーチャル京都の Web 配信には、Web サーバーとして Apache2.0.48 と Web3D-GIS のエンジンとして「Urban Viewer™ for Web」(株式会社キヤドセンター)が利用されている。このエンジンは、Web で閲覧する

データの軽量化と細分化を、主に建物や構造物からなる 3 次元形状データ、地形データ、そして各モデルの表面に貼り付けるテクスチャ画像データのすべてにおいて実現することにより、インターネットでの配信に適したものとなっている[11][12]。Web 配信の面では図 1 のような LOD (Level of Detail) 処理が実装されており、視点と対象物との距離などに応じてデータの表示と非表示を自動的に切り替えることが可能である。さらにストリーミング処理を併用することで、大量のデータを効率的に閲覧できる点が大きな特徴である。

3 次元地図データの属性は、OracleDatabase10g を用いた地理情報データベースに格納され、3 次元地図データを保管するサーバーとリンクさせることにより、空間検索を行うこともできる。

本研究においては、建物と文化財を中心とした幾つかの空間検索や名称検索機能を実装している。

ただし、バーチャル京都 3D マップを中心として「Urban Viewer™ for Web」をエンジンとする Web ページの閲覧には、無料の専用 Plug-in が必要である。

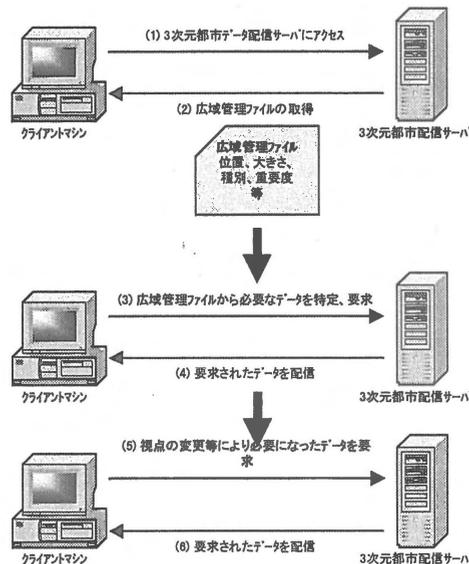


図 1 LOD 処理の流れ(高瀬,2007 より引用)

## 3. バーチャル京都 Web サイトの構成

バーチャル京都 Web サイトで配信中の主要コンテンツは、図 2 に示す内容で構成されている。

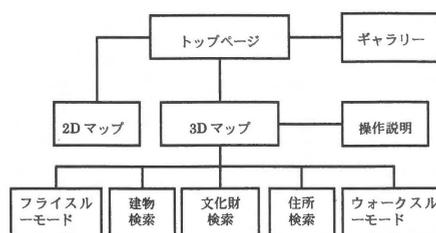


図 2 バーチャル京都 Web サイトで配信されている主要コンテンツ (2007 年 11 月現在)

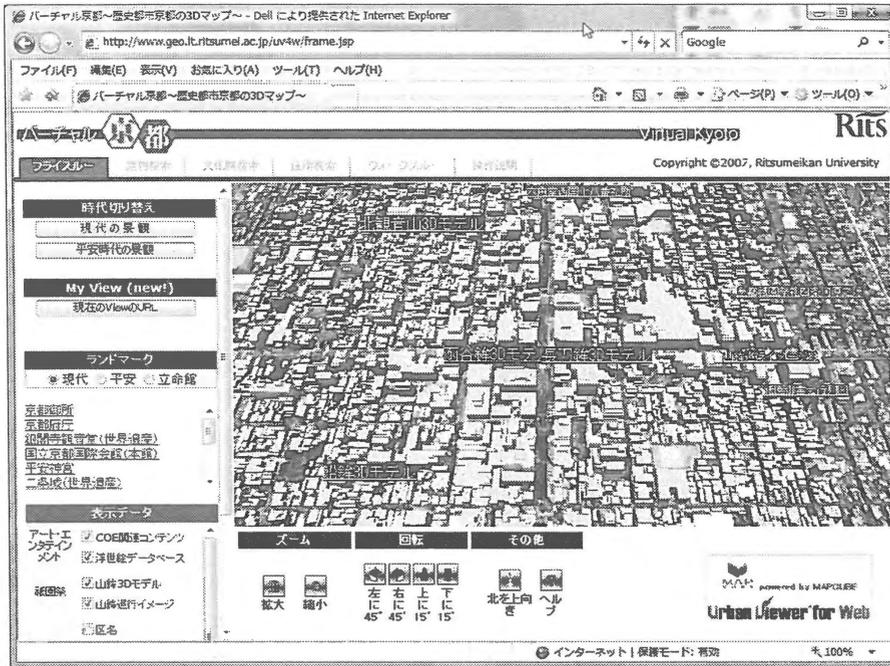


図3 バーチャル京都 3D マップの基本的なインターフェース

バーチャル京都 3D マップは、図3に示すインターフェースで構成されている。アクセスすると最初に表示される Web ページは、現在の四条烏丸付近を中心とするフライスルーによる地図であり、その上に幾つかのポイントも表示されている。ポイント表示は、その地点に関連して立命館大学で作成されたデータベースや画像、動画へのリンクである。例えば図3には祇園祭の山鉾の3次元モデルへのリンクが表示されている。

3D マップ上でユーザーは、例えば画面右上の地図表示部分をマウス操作で東西南北を自由に移動し、画面右下の機能ボタンにある地図ズーム機能や回転

機能を使用することができる。地図上で場所の移動を直接行う以外にも画面左側のフレーム内にある各種リ



図4 ランドマークの表示例 (平安神宮)

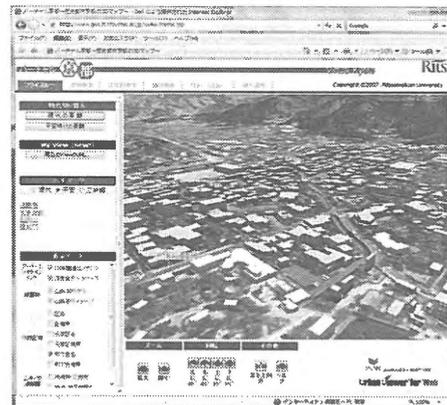


図5 岡崎法勝寺町付近の時代表示切り替え例 (上:現代, 下:平安時代)



ンクによって、特定のランドマーク地点の表示や(図 4)、時代の切り替え(図 5)、さらに建物属性の空間検索などの簡単な空間分析を行うこともできる。

バーチャル京都 Web サイトには、都市を俯瞰する「フライスルーモード」だけでなく、歩行者の視点をバーチャル化した「ウォークスルーモード」が実装されていることも大きな特徴である(図 6)。「ウォークスルーモード」では、現代と平安時代の表示に加えて昭和初期の四条通界隈が閲覧できる。



図 6 四条大橋付近のウォークスルーモードでの表示例(上:現代, 下:昭和初期)

### 3. バーチャル京都のアクセスログの収集方法

バーチャル京都 Web サイトは、前項に示したようなシステムやコンテンツで構成されている。

以下では、Web サイトに掲載されているコンテンツのうち、具体的にどのようなページが多くのユーザーに

見られているか、あるいは Web サイト上で提供されている京都市街の空間情報うち、どの範囲が多く見られているかについて検証する。

Web サイトの閲覧状況やキーワードを分析する研究手法は、一般的に Web マーケティングや SEO (Search Engine Optimization) に関わる分野で検証されることが多い。しかし WebGIS についても、その利用実態を多角的に検証することによって、Web サイトの操作性やどのような地域のコンテンツを拡充するかなど、運用システムの改善を方針づける上で非常に重要である。

バーチャル京都 Web サイトでは、2つのアクセスログを取得している。1つは Apache で収集される通常のログファイルである。これには、Apache 上の設定としてアクセス日時、メソッド(GET)、接続ホスト、エージェント(使用ブラウザやそのバージョン)、直前の参照サイト(リファラー)、キーワードの各項目を収集できるよう設定した。しかし Apache でのログ収集は、HTML ファイルや画像ファイルなどのサイトを構成する詳細なファイルまで取得されるため、ログファイルが膨大になりすぎる。さらに学外からのアクセスが、全て大学のゲートウェイを示すドメイン名として一律に記録されてしまうため、ユーザーのアクセス地の特定がほとんどできない。

そこで、2つめに、「Google Analytics™」[13]を用いてログを収集した。「Google Analytics™」は、Google から提供される数行程度のトラッキングコードを、ログを収集したい HTML ファイルに加える事でログを自動的に収集し、Web 上の画面で分析と分析結果の出力が可能である。アクセス解析には Urchin と呼ばれる解析エンジンが用いられ、解析用のインターフェースもグラフィカルに構成されている(図 7)。

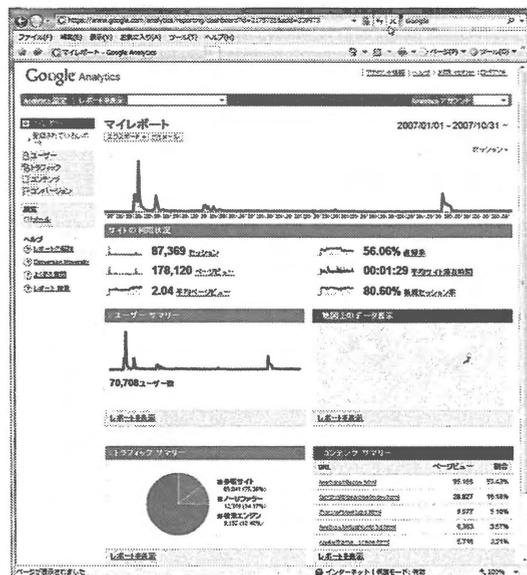


図 7 Google Analytics のアクセス解析画面

さらに「Google Analytics™」では、Google社の保有するアクセスポイントの独自データベースによって、アクセス元のIPアドレスからアクセスポイントの特定を非常に詳細に行うことができる。ログ収集機能がGoogle上のサーバーにストックされるため、参照サイトや検索ポータルでのキーワードなど、サイトへ到達する以前からのユーザーの動向を詳細に追跡することが可能である。したがって、本研究のような大学のゲートウェイ内に設置されているサーバーを運用する場合は、アクセスの実態に即したログ収集方法として有用であろう。

#### 4. アクセスログを用いたサイト分析

##### (1) 閲覧ユーザーの一般的なアクセス動向

ここでは、まずユーザーがどのようなページを閲覧し

ているかを検討する。アクセスログの分析に用いる対象は、バーチャル京都を一般公開した2007年1月22日から10月31日までの主に1ヶ月単位の期間である。なお、Apacheのログファイルと「Google Analytics™」のログファイルは、学内からのアクセスを示す「ritsume.ac.jp」のドメインを取り除いたものである。

図8は、「ユニークユーザー数」(月ごとに同一IPからのアクセスを1ユーザーとしたもの)と「ページビュー」(フレーム内に複数あるWebページを除くページの閲覧合計)の月ごとの推移である。さらにWebページ全体へのアクセス増減に起因する影響として、バーチャル京都が紹介されたイベントやメディアへの掲載、さらにサイトの更新(コンテンツの拡充)によるところが大きいと考えられる。そこで、表1にバーチャル京都Web

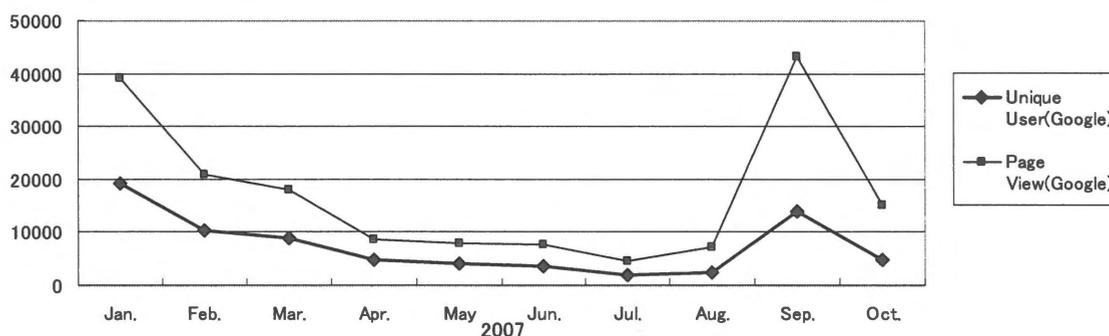


図8 バーチャル京都 Web サイトへのアクセス動向

表1 バーチャル京都 Web サイトが紹介された記事・行事

掲載日	掲載媒体・イベント等	タイトル・内容
2007/1/23	Yahoo! 話題先読み情報	昔を振り返る?新サービスに新アイテム
1/23	日経新聞朝刊	立命大が仮想地図、京の町並み、立体観察——行政など用途広く
1/23	京都新聞朝刊	仮想の京”時空散歩“ 立命大教授ら、街並み3D化
1/23	読売新聞朝刊	京都リアル3次元地図 立命館大で制作 ホームページで公開始まる＝京都
1/26	スプラッシュドットジャパン	バーチャル京都3Dマップ公開
1/26	京都新聞電子版	
1/29	立命館大学国際シンポジウム	バーチャル・シティ研究の新たな展開の開催
2/7	烏丸経済新聞	立命館大学、サイト上で「バーチャル京都3Dマップ」公開
2/8	Internet Watch	ウォークスルーも可能な「バーチャル京都3Dマップ」ほか
2/26	mediajam	立命館大学、サイト上で「バーチャル京都3Dマップ」公開
3/14-6/5	国立民族学博物館	開館30周年記念特別展「聖地★巡礼」への出展
3/15	書籍:バーチャル京都の販売開始	
3/16	Internet Watch	平安京を3D地図で再現、立命館大学がバーチャルマップ公開
3/23	関西テレビ京都チャンネル-京都ちゃちゃちゃ	
4/16	日経ネットナビ	3D表示で楽しむ地図サイト・サービス
5/26	国立民族学博物館 開館50周年イベント	バーチャル京都 聖地・巡礼の開催
6/16-17	第6回産官学連携推進会議への出展	
6/21	サイト更新	祇園祭コンテンツの追加
7/9	サイト更新	My View機能の追加、画面レイアウトの変更
7/29		バーチャル京都トップページのリニューアル・コンテンツ整理
8/5		バーチャル京都ギャラリー vol.1の公開
8/23	GISA国際集会「歴史地図とGIS」	
9/3		バーチャル京都ギャラリー vol.2の公開
9/9		眺望景観規制検索WebGISを公開
9/10	Yahoo! 今週のオススメ	ネット上の街へお出かけ! 仮想世界特集
10/8		バーチャル京都ギャラリー vol.3の公開
11/3		バーチャル京都ギャラリー vol.4の公開

サイトのメディア等への掲載動向についても参考に示した。なお、各種掲示板や個人のblog上での紹介は、完全に捕捉することが不可能であるため、アクセスログの集計結果から特にアクセス件数が多いサイトのみをここでは示した。

Webサイトの公開直後は、特に多くのメディアに掲載されたため、1月期の対象期間が実質9日間であったにも関わらず、全期間の25%以上のアクセスユーザー数であった。次いで全期間を通して多かったのは9月期であり、特に9月10日以降のアクセス数が非常に多かった。これはリファラーなどから「Yahoo! 今週のオススメ」に掲載されたことが大きいと考えられる。逆にアクセス数が最小となったのは7月期であり、全期間の約3%であった。この期間はサイトを更新したものの、他の期間に比べWebサイトがメディアで紹介されるようなサイト拡充やイベントが皆無であったことが大きい。

ページビューは、ユーザー数と比例関係にあるが、7月末にページリニューアルを行いWebGIS以外のコンテンツも拡充したため、8月期以降はWebサイト上の様々なページが閲覧されるようになった。

表2は、バーチャル京都Webサイトの閲覧が開始される直前のリファラーを集計したものである。例えば、2・3・7位にあがっている「Yahoo! JAPAN」の影響が最も大きいことがわかる。次いで1・9位にあがっている立命館大学のサイトを經由してたどり着いたユーザーも

表2 参照サイト一覧 (全期間のトップ10ページ)

順位	参照元	セッション数	割合
1	ritsumeai.ac.jp	22,423	34.06%
2	dir.yahoo.co.jp	17,513	26.60%
3	picks.dir.yahoo.co.jp	10,983	16.68%
4	slashdot.jp	5,496	8.35%
5	internet.watch.impress.co.jp	3,744	5.69%
6	my.yahoo.co.jp	1,550	2.35%
7	local.yahoo.co.jp	658	1.00%
8	nikkei.co.jp	367	0.56%
9	arc.ritsumeai.ac.jp	331	0.50%
10	karasuma.keizai.biz	298	0.45%

(集計はGoogle Analyticsによる。トップ10サイトの累積比率は96.24%である)

多く、大学の成果として注目されていることがわかる。

図9は、最もページビュー数の多いトップページと、WebGISに関連するページの閲覧状況の推移である。ただし9月7日に公開した「眺望景観規制 WebGIS」は、分析対象期間内のアクセス件数が極端に少ないため本研究対象から除いた。

最もアクセス数が多いページはサイトのトップページの「ritscoe.html」である。しかし、3月期にはバーチャル京都3Dマップの本体ページである「frame.jsp」がトップページを上回り、このような傾向が7月頃までたびたび現れた。この状況から、トップページを閲覧するよりも直接3Dマップを閲覧するために、ブックマーク等を用いる、サイトへのリピーターが一定層存在していたと言えよう。逆に、3Dマップのもう一つの特徴である「ウォークスルーモード」やMapserverを使用したPlug-in不要の「2Dマップ」へのアクセス数が極端に少ない。このことから、大部分のユーザーがWebGISの中でも「フライスルーモード」のみに興味を持ち、閲覧したことが読み取れる。

9月期以降はトップページのアクセス数と各種のWebGISページへのアクセス数に大きな開きが見られるようになった。これは、8月期に拡充したWebGIS以外のページへのアクセスが全体的に多くなったこと、「バーチャル京都3Dマップ」の解説ページへのアクセスが多かったことが挙げられる。しかしながら、逆に初期と比べて、サイトへ訪れたものの3Dマップ本体へのアクセスを行わずに離脱したユーザーや、プラグインのインストールに失敗し正常に閲覧できないユーザーが多くなったことが推察できる。

## (2) 閲覧ユーザーのアクセス地域の推移

ユーザーの全体的な動向に対し、アクセス者の動向は、現実の地理空間上でどのように推移したのだろうか。次にユーザーのアクセスポイントを分析対象として、現実の空間上でのWebサイトの普及過程を検討する。ここでは、「Google Analytics™」の「セッション

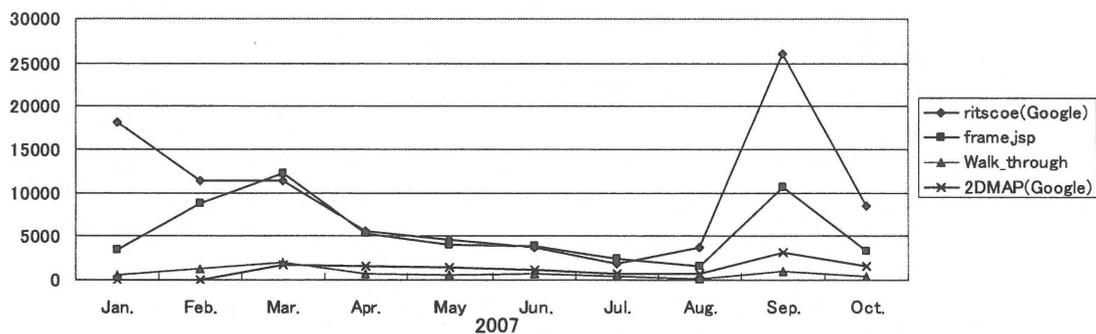


図9 バーチャル京都WebサイトのトップページとWebGISページへのアクセス動向

数」(30分を単位とする新規のユーザーアクセス数)について、ユーザーがどの地域からアクセスしているかを、「Google Analytics™」のレポート機能で提供されるISPのアクセスポイント地域名と緯度経度の情報をもとに、都道府県単位に集計して地図化した。なお、都道府県ごとのインターネット接続者数には偏りがあるため、ここでは総務省の「情報通信統計データベース」[14]で調査されている、平成18年末現在のブロードバンドサービスの都道府県別の契約数を参照し、インターネット接続規模を考慮したアクセス比率を算出した。

図10に月単位でのセッション数の推移を示した。全期間を通じて最もアクセスの多い地域は、Webサイトの表示対象範囲である京都府からのアクセスである。

1月期は掲載後間もないことから、京都府近隣の各府県に加え愛知県、東京都といった3大都市圏からのアクセス比率が高い。しかし、2月期から4月期にかけてサイトがメディアやインターネット上で紹介され、上記以外の都道府県の比率が徐々に上昇する。5月期には大阪府の国立民族学博物館でバーチャル京都のデモ展示を行い、来場者も多かったため、近畿圏を中心とした比率が大きなウエイトを占め、次いで東京都・群馬県・茨城県など関東での比率も高くなった。だが、6月期から8月期のアクセス数が減少する時期には京都府を中心とする関西圏と東京都にアクセスが集中した。さらに最もアクセス数の少ない8月期には京都府と近隣の香川県のみアクセス比率が特化した。

9月期に入り、再びインターネット上で紹介されると、3大都市圏を中心とするアクセスの集中傾向はサイト公開初期と大きくは変わらない。ただし、今までアクセス比率が極端に少なかった東北地方と北海道、そして山陰地方でのアクセス比率が急増し、この時期にはほぼ全国からのアクセスが確認できた。この動向はアクセス比率自体少ないものの10月期に入っても継続した。

以上のことから、バーチャル京都Webサイトにおけるアクセス動向は、①配信情報の対象地域である京都府が常に一定のアクセス層を占めていること、②インターネット環境の整っている3大都市圏を中心にアクセス比率が高く、その動向はメディア等による紹介に影響され変化すること、③全国メディアで紹介されることによって爆発的に他地域からのアクセスが増え、メディア紹介後、しばらくするとアクセス総数や比率は減少する。ただし紹介前に比べ各県とも相対的にアクセス比率が以前よりも上昇したこと、が明らかとなった。

### (3)バーチャル京都3D上での空間参照の推移

ところでバーチャル京都3Dマップは、現実の空間を復元した3次元都市モデルを重要なコンテンツとし

ている。したがって、バーチャル空間上のアクセス状況を分析することで、ユーザーが閲覧可能範囲の地域から、具体的にどのような地域や地点に関心を持っているかを推測できる。

図11はバーチャル京都3Dマップ上の地面データへのアクセス状況を月ごとに示したものである。地面データは、250m四方で合計6324個(ただし、3月以降はMAPCUBEデータの仕様変更に伴い3305個に縮小して配信している)のメッシュ状に構成されている。地面のメッシュデータは前述のように視点の高度や角度に応じて表示範囲として同時に読み込まれるため、画面の解像度などに応じて数は変化する。アクセスログの内容から初期表示ではおよそ9面から16面程度のメッシュデータが読み込まれていると推測できる。また、リンクをたどって表示されるランドマーク数は19地点である。このうち法勝寺、左京北部、船岡山、羅城門などの平安京に関わるランドマークは、平安京の3次元都市モデルが配信され始めた3月期に実装された。

公開当初の1月期は、京都市街地を中心に広範囲にわたり閲覧されている。特にランドマークの周囲へのアクセス数が多い。3月までは平安京関連のランドマークが未実装であったものの、羅城門付近や嵐山、さらに蹴上付近へのアクセス数が多いことから、リンク先以外の地域についても、ユーザーが自らの操作でアクセスした事が推察できる。

2月期から3月期にかけては、京都市街地とランドマーク地点のアクセス集中は変わらない。しかしながら、京都駅以南の地域、特に伏見区や竹田駅周辺へのアクセスが顕著に見られた。

3月期以降は、MAPCUBE®の仕様変更に伴い、表示範囲が縮小されたこともあり、全体的に京都市街地とランドマーク地点へのアクセス集中が見られた。アクセス数が全体的に少なくなる7月期から8月期にかけてはランドマーク地点周辺でもアクセス数が減少したが、逆にランドマーク地点の存在しない山科区の一部(蹴上付近)や嵐山地域を中心として一定のアクセス数が確保された。

全国的にアクセス数が増大した9月期は、ランドマークへのアクセスが増加したことに加え、嵐山地域と伏見区付近へのアクセスも多く見られた。10月期に入るとランドマークとその周辺地域へのアクセス範囲が縮小し、嵐山地域についても同様に、アクセスの多い範囲が縮小された。

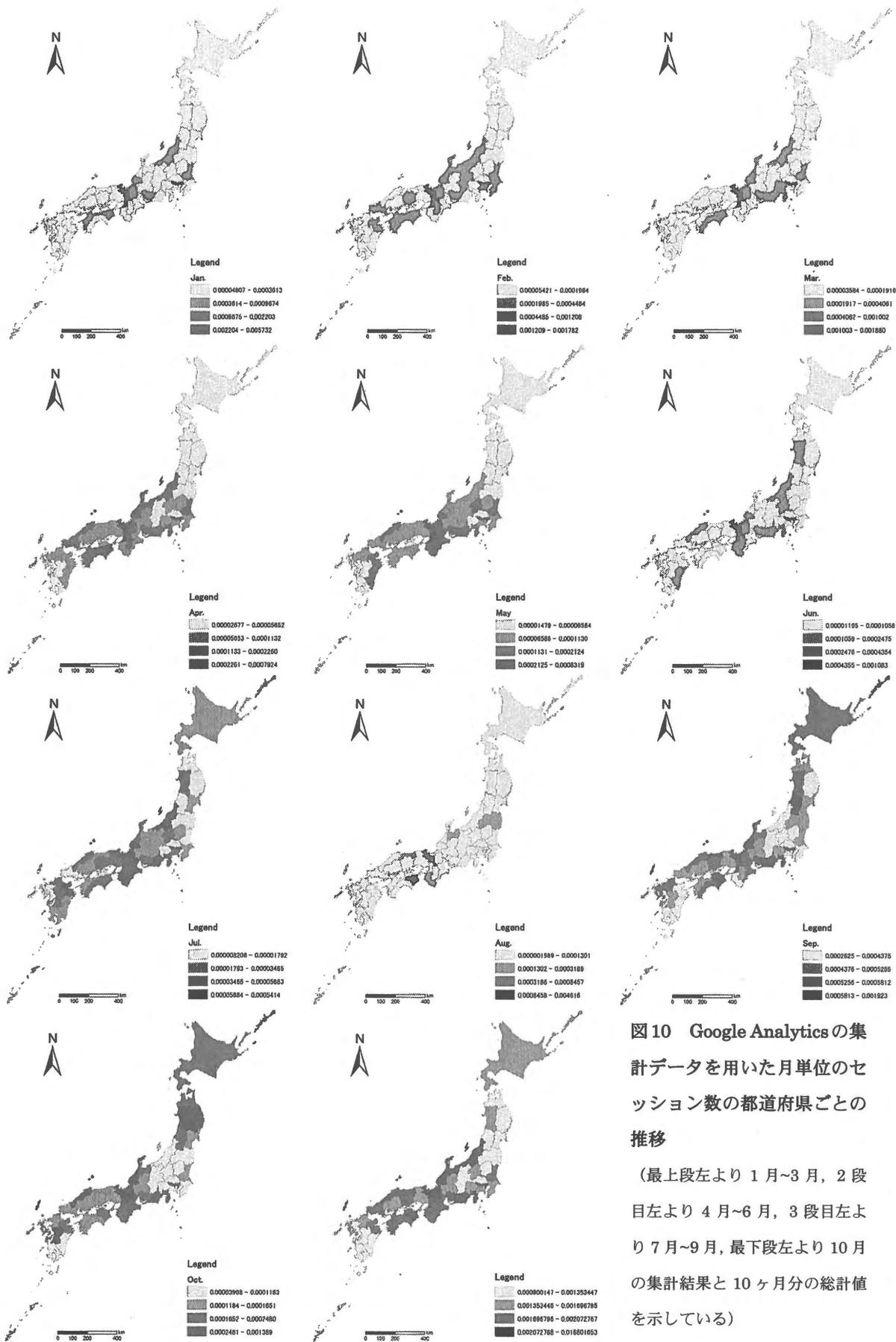


図10 Google Analyticsの集計データを用いた月単位のセッション数の都道府県ごとの推移

(最上段左より1月~3月, 2段目左より4月~6月, 3段目左より7月~9月, 最下段左より10月の集計結果と10ヶ月分の総計値を示している)

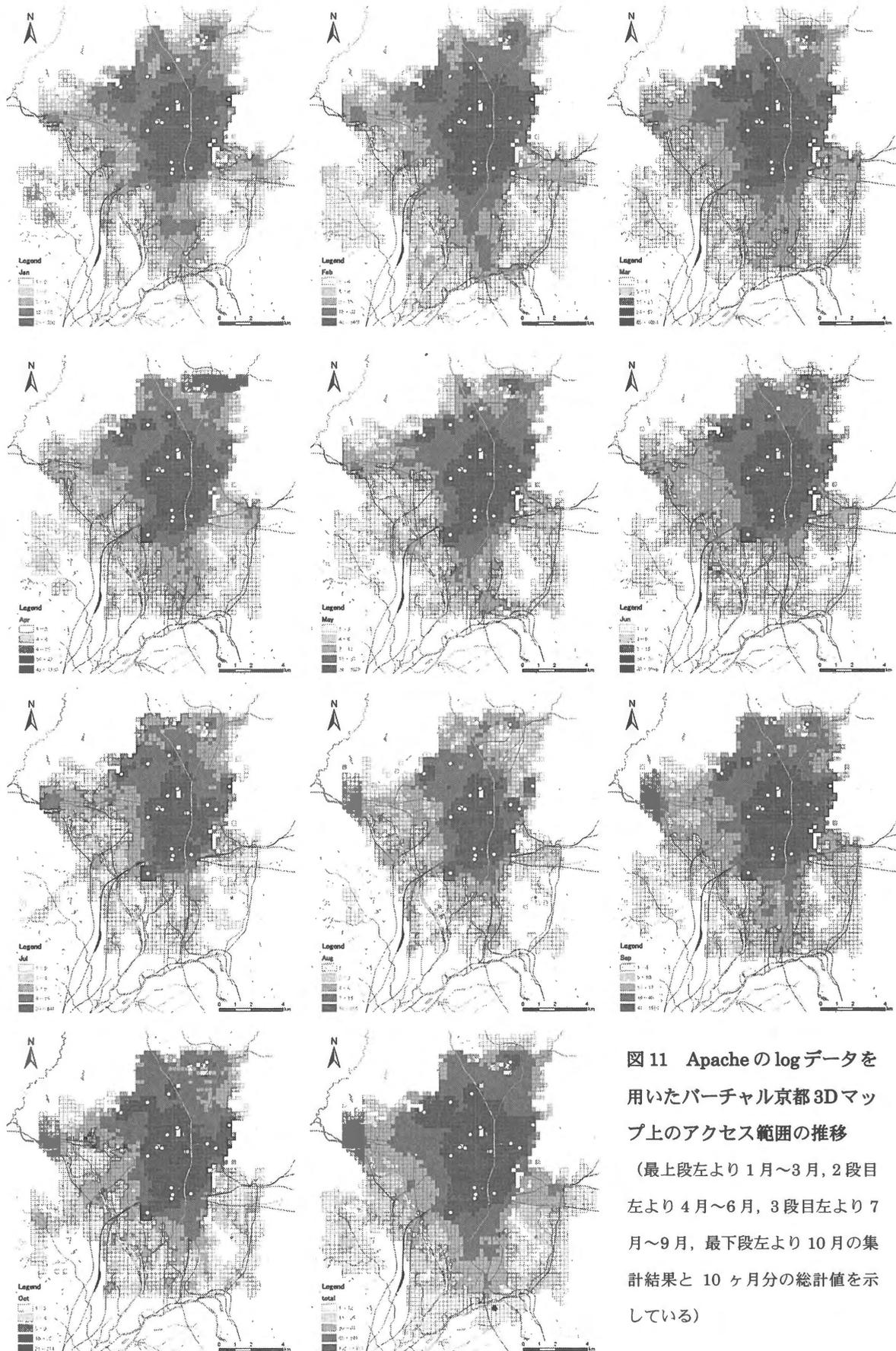


図11 Apacheのlogデータを用いたバーチャル京都3Dマップ上のアクセス範囲の推移  
 (最上段左より1月～3月, 2段目左より4月～6月, 3段目左より7月～9月, 最下段左より10月の集計結果と10ヶ月分の総計値を示している)

#### 4. おわりに

本研究は、WebGIS サイトへのアクセス動向を把握する手段としてアクセスログデータを元に、ログデータ自体の収集方法の検討と、ユーザーの居住地やバーチャル上の閲覧地域を具体例として、時空間的なユーザー動向についても分析を試みた。

Web サイトを閲覧するユーザーは、WebGIS 上に掲載されている該当地域からのアクセスが一定数の割合で常に占めていることが明らかとなった。さらにメディア等での紹介によって、爆発的に他地域からのアクセスが増えることが明らかとなった。閲覧対象となる表示範囲についても、概ね用意されているコンテンツに沿って閲覧されているが、関連のリンクを一切用意していない嵐山地域や伏見区周辺が相対的に高い比率で閲覧されていることや、他の WebGIS サイトではほとんど見ることの出来ない「ウォークスルーモード」が閲覧されていないこと、さらに Plug-in 等の関係から 3D マップのページにアクセスする前に離脱するユーザーが多いことなど、サイト運用上の改善事項として検討すべき点も判明した。加えて、バーチャル空間の閲覧状況についても、例えば閲覧開始から閲覧終了までの一連のサイト操作の流れを、ユーザー特性に即して詳細に把握出来なかったことや、Web3D-GIS の特徴であるユーザーの視点情報や高度設定などの実態を本研究では分析対象とできなかつた。このような分析は WebGIS におけるユーザーの 3 次元的操作実態を示す重要な手がかりとして、今後の研究課題といえるであろう。

Web 技術をはじめとして、WebGIS を取り巻く環境は近年急速に変化しており、GIS 機能を有する Web サイトとして求められる掲載データやインターフェースも刻々と変化している。これらのニーズを正確に把握するためには、Web サイトの動向が端的にわかるアクセスログなど閲覧状況のわかるデータを有することと同時に、正確かつ手早くサイトのアクセス状況を分析できるツールや分析のためのインターフェースについても同様に求められる。

#### 5. 付記

本研究は、文部科学省グローバル COE プログラム「日本文化デジタル・ヒューマニティーズ拠点」(2007 年度～2011 年度、拠点リーダー：川嶋将生)の成果の一部である。バーチャル京都 3D マップの構築においては、学内共同研究者の他、特に株式会社キヤドセンターの高瀬裕先生(立命館大学 COE 推進機構・特別招聘教授)、曾根敦氏、河原大氏(立命館大学 COE 推進機構・特別研究員)をはじめとする Web サイト構築メンバーの皆さんのご尽力に深く感謝いたします。

#### 6. 参考文献

- [1] 矢野桂司・中谷友樹・磯田弦編著：『バーチャル京都一過去・現在・未来への旅』、ナカニシヤ出版、2007。
- [2] 矢野桂司・中谷友樹・磯田 弦・河角龍典・高瀬裕：都市 3 次元 GIS/VR による京都バーチャル時空間の構築、情報処理学会研究報告 Vol.2004 no.6, pp.97-104, 2004。
- [3] B.ブリュー著：『インターネット GIS』、古今書院、2001。
- [4] 矢野桂司：『デジタル地図を読む』、ナカニシヤ出版、2006。
- [5] The Official Google Blog：  
<http://googleblog.blogspot.com/2005/02/mapping-your-way.html>
- [6] 平松薫・小林堅治・Ben Benjamin・石田亨・赤埴淳一：デジタルシティにおける情報検索のための地図インターフェース、情報処理学会論文誌、41-12, pp.3314-3322, 2000。
- [7] 大塚真吾・喜連川優：Web アクセスログとその利活用、人工知能学会誌、21-4, pp.410-415, 2006。
- [8] Rack Thawonmas, Masayoshi Kurashige and Kuan-Ta Chen: Detection of Landmarks for Clustering of Online-Game Players, *The international journal of virtual reality*, 6(3), 11-16, 2007。
- [9] 矢野桂司・磯田弦・河原大・河角龍典・井上学・中谷友樹・高瀬裕：4D-GIS によるバーチャル・シテイの構築—歴史京都のバーチャル時・空間、人文科学とコンピューターシンポジウム論文集, vol. 2004no.17, pp.17-24, 2004。
- [10] バーチャル京都 Web サイト、  
<http://www.geo.lt.ritsumei.ac.jp/webgis/ritscoe.html>
- [11] 曾根敦・畑中達也・銀木護・益見貴光・坂尾滋彦・河原大・高瀬裕：Web3D-GIS 技術による 3 次元都市モデルのインターネット配信、地理情報システム学会講演論文集, vol.14, pp.539-545, 2005。
- [12] 高瀬裕：3 次元都市モデル配信の多様な技術。矢野桂司・中谷友樹・磯田弦編著：『バーチャル京都一過去・現在・未来への旅』、ナカニシヤ出版、pp.154-157, 2007。
- [13] Jerri L., Ledford and Mary E. Tyler: *Google Analytics 2.0*, Willy, 2007。
- [14] 総務省 情報通信統計データベース、  
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/>

近畿地方における前方後円墳の分布論的検討  
—GIS データベース利用の試み—

Examinations on the distribution of  
Keyhole-shaped burial mounds in Kinki region

出田 和久

Kazuhisa Ideta

奈良女子大学文学部, 奈良市北魚屋西町

Nara Women's University, Kitauoya-Nishi-Machi, Nara

あらまし：本研究の目的は、従来十分に分布を提示することなく論じられる傾向にあった前方後円墳の分布に関して、詳細な分布図を作成し、その特徴を把握することにより、前方後円墳の性格をめぐる理解に新たな知見を加えることができるかについて予察的に検討することにある。前方後円墳に関して、墳丘、内部主体、外表施設、副葬品などに関する GIS データベースを作成し、前方後円墳の主要な属性ごとにあるいはその組合せの分布図を作成し、分布上の特徴を抽出し、若干の検討を加えた。その結果、10 期編年と諸属性等をクロスさせて分布を観察することにより、大和川が河内平野に出てきた位置とそれに連続する地域に所在する玉手山古墳群と古市古墳群における大型前方後円墳の築造が、奈良盆地を含めた他地域には見られないほど長期間にわたり継続することが指摘できるなど、成果が期待できることが明らかとなった。

Summary: The purpose of this study is to discuss the distribution pattern of old keyhole-shaped burial mounds (*Zenpoukouenfun*) in Japan in Kofun-period (BP.1850-1500). The Kofun-period can be divided into 10 phases. At first the author built the database on attributes (for example, size of a mound, relics such as bronze mirror, armor, iron sword and so on) of the keyhole-shaped burial mounds in Kinki region. Then the following various distribution maps were made with the aid of GIS, 1) on each attribute of burial mounds, 2) on each phase of the Kofun-period, 3) on size of a mound. The results show that the large-size mounds are distributed in the area of a gateway to the Nara Basin where is the heartland of ancient Japan from Kawachi area and that discussing through the distribution maps on each attribute of burial mounds in relating to size of a mound in each phase will be expected to be very fruitful way to gain the new knowledge on the nature of keyhole-shaped burial mounds.

はじめに

奈良女子大学の 21 世紀 COE プログラム「古代日本形成の特質解明の研究教育拠点」では、「奈良盆地歴史地理データベース」の構築をすすめている。これはこれまで作成されてきた歴史情報のデータベースのほとんどが、単に文字ベースのテキストデータから構成されており、東京大学史料編纂所の「史料編纂所所蔵肖像画模本データベース」や「古写真データベース」、

「史料編纂所所蔵荘園絵図模本データベース」や「東洋文庫所蔵」図像史料マルチメディアデータベースなどは例外的に画像を伴っているものといえよう。しかし、これらのデータベースにおいても必ずしもそれら図像やテキストに関連した地理情報が結合されているわけではない<sup>(1)</sup>。

奈良盆地は周知の通り盆地底全面にわたってと言っても過言ではないほどに広範に条里地割が残存し、

奈良盆地に所在した荘園の土帳などの土地関係史料が豊富に存在している。これらの史料は、条里プランによる位置情報が記載されているものが多く、条里地割の残存と相俟って早くから荘園史や歴史地理研究に利用されてきた<sup>(2)</sup>。条里地割は1町間隔の方格であり、これに条里呼称が付加されて条里プランが成立しているため、条里関係史料が示す地理情報は条里プランによりその場所は概ね特定できる。したがって、テキストデータである史料とその史料が示す土地情報をGISによって結合し、奈良盆地の歴史研究に活用しようというのが本プログラムにおける「奈良盆地歴史地理データベース」である。ただし、奈良盆地には条里地割だけではなく、平城京の条坊地割も残存し史料も多く存在するので、これに関しても同様にデータベースに加味することが可能である。さらに、条里地割や条坊地割が施工される以前の奈良盆地の開発状況を捉えることも視野に入れ、古墳時代や弥生時代の集落および前方後円墳に関しても本データベースに加えることを検討している。

本報告は、この「奈良盆地歴史地理データベース」の一部を構成する前方後円墳に関するGISデータベースを近畿地方全域に拡大して、近畿地方における前方後円墳に関して試みにいくつかの属性等を取り上げてその分布に関して若干の検討を行った結果について報告するものである。

## 1. 前方後円墳をめぐる理解

前方後円墳は古墳時代を特徴付ける墳墓の一形式で、古墳時代には巨大な墳丘を有する墓が盛行した。前方後円墳、前方後方墳、円墳、方墳はその基本形である。その規模はさまざまではあるが、最大規模のものをみると<sup>(3)</sup>、前方後円墳は大阪府堺市の大山古墳で、墳長が486mであるのに対して、前方後方墳は奈良県天理市の西山古墳で墳長180mである。ただし同古墳は墳丘が大きく2段に分かれ、下段が前方後方形で上段が前方後円形である。純然たる前方後方墳としては奈良県北葛城郡広陵町の新山古墳が墳長137mで最大である。因みに東国最大は栃木県藤本観音山古墳の116.5mである。円墳では埼玉県行田市の丸墓山古墳が102mで最大である。方墳は奈良県橿原市の榊山古墳が一辺85mで最大である。

このようにみると、前方後円墳の規模が特別に大きく、その規模における優位性が窺われる。また、築造数においても前方後円墳は約4800基と、400基ほどである

前方後方墳に比べて1ケタ多く築造され、さらに前方後円墳は前方後方墳に比して大規模なものが多く築造された。

弥生時代の首長層を埋葬した墳丘墓には大きく分けて円形と方形の形態があり、その築造に円形原理と方形原理<sup>(4)</sup>のいずれを採用するかにより、墳形に違いが表現され、それが首長の出自や政治的同盟関係を表しているとされる<sup>(5)</sup>。さらに、古墳時代には前方後円墳は前方後方墳に対して優位にあるとして、この墳丘の形態により首長の系譜や格式を表し、その規模により実力を示すという二重原理による身分表示システムが成立したとする。このように墳丘の型式と規模には一定の秩序が存在したとし、これを前方後円墳体制と称する<sup>(6)</sup>。

前方後円墳は、北は岩手県から南は鹿児島県まで分布する。墳長が100mを超えるような大規模な前方後円墳の分布は奈良盆地から河内平野とその周辺の地域に中心がある。しかし、大規模前方後円墳は近畿中央部以外にも分布し、墳長が350mを超え第4位の規模を誇る造山古墳の所在する岡山県をはじめ宮城県や群馬県などの東北から関東地方、さらに宮崎県や鹿児島県などの南九州地方にまで、墳長が100mを超える大規模なものがみられる。また、近畿中央部における大規模な前方後円墳の分布は、時期によってその中心が変化することが指摘され<sup>(7)</sup>、単なる墓地の移動とするものから<sup>(8)</sup>、大和と河内の間での盟主権の移動があったとする考え<sup>(9)</sup>、大和もしくは河内と和泉の4有力首長が輪番で大王となり支配機構を分掌しながら各地の首長層を共同統治したとする考え<sup>(10)</sup>、さらには大王墓の位置は政権の所在地とは対応しないと考える<sup>(11)</sup>、など様々である。

このような前方後円墳の捉え方は、それが墳墓であるとはいえ墳丘が大きく、時に埴輪や葺石で表面が飾られ、見られることを前提として築造されており、首長霊継承の儀礼の場ともなった<sup>(12)</sup>政治的な所産であることを前提としている。前方後円墳は相当量の土木工事を伴い副葬された品々の経済的な側面を考慮すると、単に政治的な所産であるとして政治モデルに基づいてその分布を解釈し、「大和王権」と地方との関係を捉えるだけでは必ずしも十分ではなく、経済的な視点も加味した解釈が必要ではないかと考えられる。この経済的な点に重点をおいて、古墳時代を通じた物資流通ネットワークの変容についてGISを用いて検討し、大規模な前方後円墳は、主要交通路と密接な関係のある

位置に立地し、物資流通ネットワークのなかで富を蓄積した有力者が築造したとの指摘もある<sup>(13)</sup>。

本研究ではこのような前方後円墳に関して、墳丘、内部主体、外表施設、副葬品などに関する GIS データベースを作成しているの、その主要な属性ごとやその組合せの分布図を作成し、分布上の特徴を抽出し、若干の検討を加え、上記の前方後円墳の性格をめぐる理解の一助となればと考えている。

## 2. 前方後円墳データベースの作成と GIS の利用

### 1) 前方後円墳のデータベース作成

前方後円墳に関しては、前方後円型という一定の型式を有し、数が多いことから数量的な分析が早くから多く行われてきた<sup>(14)</sup>。情報科学の分野において前方後円墳の形態のパターン分析を中心として、コンピュータを利用した研究が早くから行われていた<sup>(15)</sup>ことは、いかに前方後円墳が広く注目を浴びる存在であったかを如実に示している。報告者も以前九州地方の主要前方後円墳に関するデータベースを作成し、その地域性について簡単に検討したことがある<sup>(16)</sup>。その際、前方後円墳に関しては分析すべき要素が多岐にわたり、データ化すべき事項が非常に多く 140 基ほどについて整理したが、そのデータ収集作業には多くの労力を要した。その後間もなく全国の前方後円墳に関して墳形も含めて集成が行われ、一定の基準でデータがまとめられて『前方後円墳集成』が刊行された<sup>(17)</sup>。これは各地の古墳研究者が協力して全国的規模でまとめられたもので、前方後円墳データベースとでも称すべき成果であり、10 期編年による古墳の位置づけも妥当なものだと判断されている<sup>(18)</sup>。したがって、これを前方後円墳データベース作成のための基礎資料とし、必要に応じて報告書を参照することとした。

具体的な手順としては、入力作業が簡単なマイクロソフト社の EXCEL2000 を利用し、『前方後円墳集成』を資料としてデータベースを作成することとした。

まず、全前方後円墳に ID 番号を付す必要があるが、これは府県コードと府県別に付した 3 桁の古墳の通し番号によって与えることとした。たとえば、奈良県に所在する箸墓古墳の場合、『前方後円墳集成』の奈良県の部分で 133 番目に記載されているので、この前に府県コードの 29 を付して 29133 が箸墓古墳の ID 番号となる。ArcGIS では、この ID 番号によって属性テーブル間の結合をすることになる。

入力したデータは、ID 番号、名称、所在地、緯度・経

度、地形(標高および比高を含む)のほか属性データとして墳丘に関しては形状、規模(墳長、後円部径、前方部長さ・幅など)、方位、周濠の有無等、外表施設(埴輪の有無とその型式、葺石の有無など)、内部主体(種類、長さ・幅など)、副葬品(鏡、装身具、石製模造品、武器、武具、農工具、土器など)などの諸データである。これに『前方後円墳集成』の近畿編の旧国別にまとめられた地域の概要の編年表に掲載されている前方後円墳についてはその時期を 10 期編年にしたがって入力した。これらの EXCEL で作成したデータベースを加工して、ArcGIS を使用して各種の属性に関して分布図を作成することになる。データの加工に際しては、一部にあるあいまいな表現や不分明な点に関して一部便宜的な取り扱いを決めて修正を行った。たとえば、前記の前方後円墳の編年表で 1 期と 2 期の境界に位置づけられている場合や、1 期と 2 期の境界線が入っていないで 2 つのセルを統合して記載がある場合は、基本的にはデータは検討の基礎とするものであるので 1 期と 2 期の両方の時期ともに入力することとした。その結果、全体で 876 の前方後円墳があり、そのうち 476 古墳(前期のように複数の時期を入力した古墳もあるので延べ数では 529 基となる)がある程度時期が判明していることが分かった。時期別に整理すると表-1 のようになり、時期が明確なものでは 9 期が最も多く 67 基で、不確かな時期を含めると 3 期が 104 基と最も多くなる。

表-1 時期別の前方後円墳の数

時 期	古墳の数	時 期	古墳の数
1 期	31	5-6 期	4
1-2 期	7	5-7 期	4
2 期	33	6 期	15
2-3 期	7	6-7 期	13
2-4 期	2	7 期	33
3 期	55	7-8 期	3
3-4 期	25	8 期	38
3-5 期	15	8-9 期	16
4 期	49	9 期	67
4-5 期	17	9-10 期	16
5 期	49	10 期	30
		合 計	529

なお、『前方後円墳集成』には緯度・経度の情報が記されていないので、フリーソフトのカシミール 3D を使用して『前方後円墳集成』掲載の分布図に示された位

置から、前方部と後円部のくびれ部の中央を当該前方後円墳の位置として緯度経度を取得して、その情報を付け加えることとした。これにより ArcGIS で各種分布図が作成できることになる。

## 2) GIS の利用による分布図の作成

このようにして作成したデータベースをもとに ArcGIS を使用して、前方後円墳の主要な属性や副葬品について分布図を作成した。なお、結果の解釈に当たっては、対象地域を近畿地方と限定しているため、より広域にわたる検討が必要な事象も存在する可能性点には注意が必要であろう。また、上記のように半分強の前方後円墳の時期が一応推定されているので、時期と属性を組み合わせた分布図の作成が可能である。時期があいまいで複数の時期にまたがって推定されている場合は便宜的に古い時期を採用して図示することにした。

以下、試みに作成した分布図から明らかとなる点について若干検討をすることとした。

## 3. 前方後円墳の時期別および分布図による検討

### 1) 副葬品の時期別の出土傾向

前述のように『前方後円墳集成』の地域の概要の部分に編年表があり、時期がある程度判明乃至推定されている前方後円墳(必ずしも時期は確定していないものも含むが煩雑になるのを避けるために以下では時期判明分と記す)に限定して、副葬品の出土の有無について時期別にみると、種類により出土する時期に特色があることが分かる。

まず、中国鏡についてみると、出土古墳は 20 前後と少ないが、三角縁神獣鏡と画文帯神獣鏡はともに 2 期から 4 期に多く出土し、特に前者では約 8 割を占めている。

腕飾類についてみると、石製腕飾類は碧玉製腕飾とともに 3 期を中心に 2 期から 4 期の古墳に出土し、5 期の島ノ山古墳が石釧を出土しているのは例外的とはいえ、石製腕飾類は前期古墳に多く副葬されるといえる。

武具についてみると、短甲は 5 期は 1 基のみであるが、3 期から 7 期にかけて 30 基と、時期不明を除くと大半を占め、中期古墳に多く副葬される。馬具は、3 期と 5 期に各 1 基、6 期に 2 基みられるが、8 期に 9 基、9 期に 26 基、10 期に 3 基と後期古墳に副葬されることが多く、時期不明が 20 期あるものの前期および中期

の前方後円墳では少ない。

武器についてみると、鉄剣は 1 期から 10 期全時期の古墳で出土しているが、3 期がもつとも多く、3 期から 5 期で約 6 割を占める。鉄刀(156 基、うち時期判明分 116 基)は、全期にわたって副葬されているが、やはり 3 期から 5 期に多く両時期で時期が推定されている分の約 45%を占める。

農具についてみると、出土しているのは農具(55 基)は鎌(42 基)と鍬(18 基)が多く、ほぼ全ての時期に出土がみられるが、時期判明分のうち 13 基ある 3 期に中心がある。工具では、刀子が 3 分の 2(92 基)で出土し、続いて斧が 76 基と多く、その他鋤(18 基)となるが、時期別には農具ほどには集中をみないが、約 2 割が 3 期であり、やはり 3 期に多い傾向はうかがえる。

このようにみえると、3 期には特に副葬品の種類が豊富であることが分かり、興味深い。

### 2) 副葬品からみた分布

大型の前方後円墳の分布に関しては全国的な視野から指摘がなされている<sup>(19)</sup>が、墳長を唯一の指標にしたもので、副葬品などの出土品は考慮に入られていない。そこで、対象地域が近畿地方と限定されているので解釈に際してはその点の留保は必要であるが、以下において副葬品の出土分布に関して、近畿地方のみを対象とした場合にどのようなことが指摘できるかを検討することにした。

三角縁神獣鏡と画文帯神獣鏡の両方を出土する前方後円墳は 8 基あり、少なくともいずれかを出土する前方後円墳の 3 分の 1 強を占める。画文帯神獣鏡は奈良盆地(大和川流域)と淀川流域および大阪湾沿岸(以下、近畿中央部と略称する)の前方後円墳からの出土のみで、三角縁神獣鏡が播磨西部揖保川流域に 3 か所、園部盆地、湖東平野にもみられるのに対して、範囲がより限られている。

碧玉製腕飾を含めて石製腕飾類の分布をみると、大半が近畿中央部に集中している。碧玉製腕飾はより限定的分布を示し、加古川上流域や湖東平野で出土古墳が減少する。

武具についてみると、短甲は近畿中央部と湖東平野、加古川上流域、紀ノ川流域にほぼ限定されている。奈良盆地では 6 期までしかみられないが、他地域では 4 期と 7 期が多い。馬具は、短甲よりも広範囲に分布し、播磨南部や由良川や加古川流域、湖北の天野川流域、紀伊の日高川下流などにもみられる。時期との関連でみると、加古川下流部の行者塚古墳(110m)が唯

一 3期と最古で、あとは奈良盆地の5期の島ノ山古墳(墳長195m、以下、同様で墳長を省略する)、6期の奈良市のベンシヨ塚古墳(70m)と各1基あり、7期になって5基と増加する。9期に23基と集中し、分布範囲が外縁部に一気に拡大する。

武器についてみると、鉄剣は近畿中央部以外にも分布が広がっている。1期と2期についてみると、その分布は播磨南部地域と近畿中央部に限られ、3期になると播磨北部、丹後、近江の諸地域に拡大する。ただ、近江では7期までしかみられない。鉄刀も広範な分布を示し、鉄剣同様に1期と2期は播磨南部にはみられないもの、近江や但馬、丹後では3期にならないとみられない。1期にみられる5基のうち2基が播磨に分布し、播磨では4期～8期の間に鉄刀を副葬する前方後円墳がみられない。

農具についてみると、工具では1期の5基のうち3基が播磨南部に分布し、いずれも墳長が50m未満の小規模な前方後円墳である。2期までは分布は近畿中央部と播磨南部に限られているが、3期になると近江、播磨北部にも出現する。農具は、1期は椿井大塚山古墳(京都府木津川市)と権現山51号墳(兵庫県揖保郡たつの市)の2基のみで、3期に近江に拡大するが、少なくとも5期にはみられなくなり、近江では出土する時期がかなり限定的である。

以上、主要な副葬品について分布をみてきた。上で検討したなかでは、特に次のような点が興味深い。

石製腕飾類の分布(特に碧玉製)が近畿中央部の前方後円墳からの出土にほぼ限定されている。

播磨南部には早い時期から多様な副葬品がみられ、一方、椿井大塚山古墳は出土する副葬品の種類が豊富である。

### 3) 前方後円墳の規模と築造時期に関する分布論的検討(図-1)

前方後円墳の規模についてみると、100mを超える前方後円墳は時期判明分で120基あり、その割合は25%で、時期不明も含めた全体でみると160基で、割合は18.2%である。150m超となると、時期判明分で44基、9%である。なお、50m未満のものは時期判明分で187基あり、39%を占め、時期不明を含めると451基、51%と過半数を占める。1期では100m超の前方後円墳は6基あり、うち5基が大和・山城地域に集中し、1基が播磨西部の丁瓢塚古墳(104m、姫路市)である。2期には200mを超えるような前方後円墳は桜井茶臼

山古墳(奈良県桜井市、207m)の1基のみであるが、3期になると古墳数が2.5倍になるとともに、大型化し200mを超えるものが6基出現する。しかし、その分布は奈良盆地北部の佐紀盾列古墳群の五社神古墳(伝神功皇后陵古墳、275m)、佐紀陵山古墳(伝日葉酸媛命陵古墳、207m)と宝来山古墳(伝垂仁天皇陵古墳、227m)の3基、東南部の柳本・大和古墳群の行燈山古墳(伝崇神天皇陵古墳、242m)、渋谷向山古墳(伝景行天皇陵古墳、300m)とメスリ山古墳(桜井市、推定250m)の3基と全て奈良盆地に所在するのが特色である。4期には奈良盆地北部の佐紀盾列古墳群の佐紀石塚山古墳(伝成務天皇陵古墳、218m)と南西部の馬見古墳群の巢山古墳(広陵町、204m)および河内平野の古市古墳群の津堂城山古墳(大阪府藤井寺市、208m)の3基で、後者は古市古墳群中の最古の古墳と見られている。

古墳時代中期の5期になると9基に増加し、そのうち佐紀盾列古墳群に3基、馬見古墳群に2基、奈良盆地南部に1基と奈良盆地に6基、古市古墳群に2基、百舌鳥古墳群に1基となる。6期になると佐紀盾列古墳群に1基(ウワナベ古墳、270m)と古市古墳群に1基(誉田御廟山古墳(伝応神天皇陵古墳)、425m)の2基に減少する。続いて7期には百舌鳥古墳群に2基、古市古墳群に1基、淀川流域の太田茶臼山古墳(伝継体天皇陵古墳、大阪府茨木市、226m)の4基となり、8期には古市古墳群の岡ミサンザイ古墳(伝仲哀天皇陵古墳、242m)1基のみとなり、巨大前方後円墳の時代は終わる。

このようにみると、4期の津堂城山古墳にはじまり各期とも継続して8期まで200mを超える大前方後円墳が築造され続け、9期においても200mには達しないが122mで3位の墳長を示す野中ボケ山古墳(伝仁賢天皇陵古墳)が所在している古市古墳群の大前方後円墳築造に関する安定性が注目される。石川を挟んで直ぐ南東の玉手山丘陵を中心とした一帯には2期に墳長110mの玉手山1号墳が築造されるのをはじめ4期に墳長150mの後山古墳、さらに約2km東の大和川を望むところには3期に墳長130mの松岳山古墳が築造されるなど、古市古墳群とその周辺では2期以降100m超の前方後円墳が築造されている。このことはこの位置が大和川に沿うとともに河内から大和へ至る門戸に当たる要衝であることが重要な意味を持っていることを示唆するようである<sup>(20)</sup>。

また、1期には椿井大塚山古墳があった山城南部地

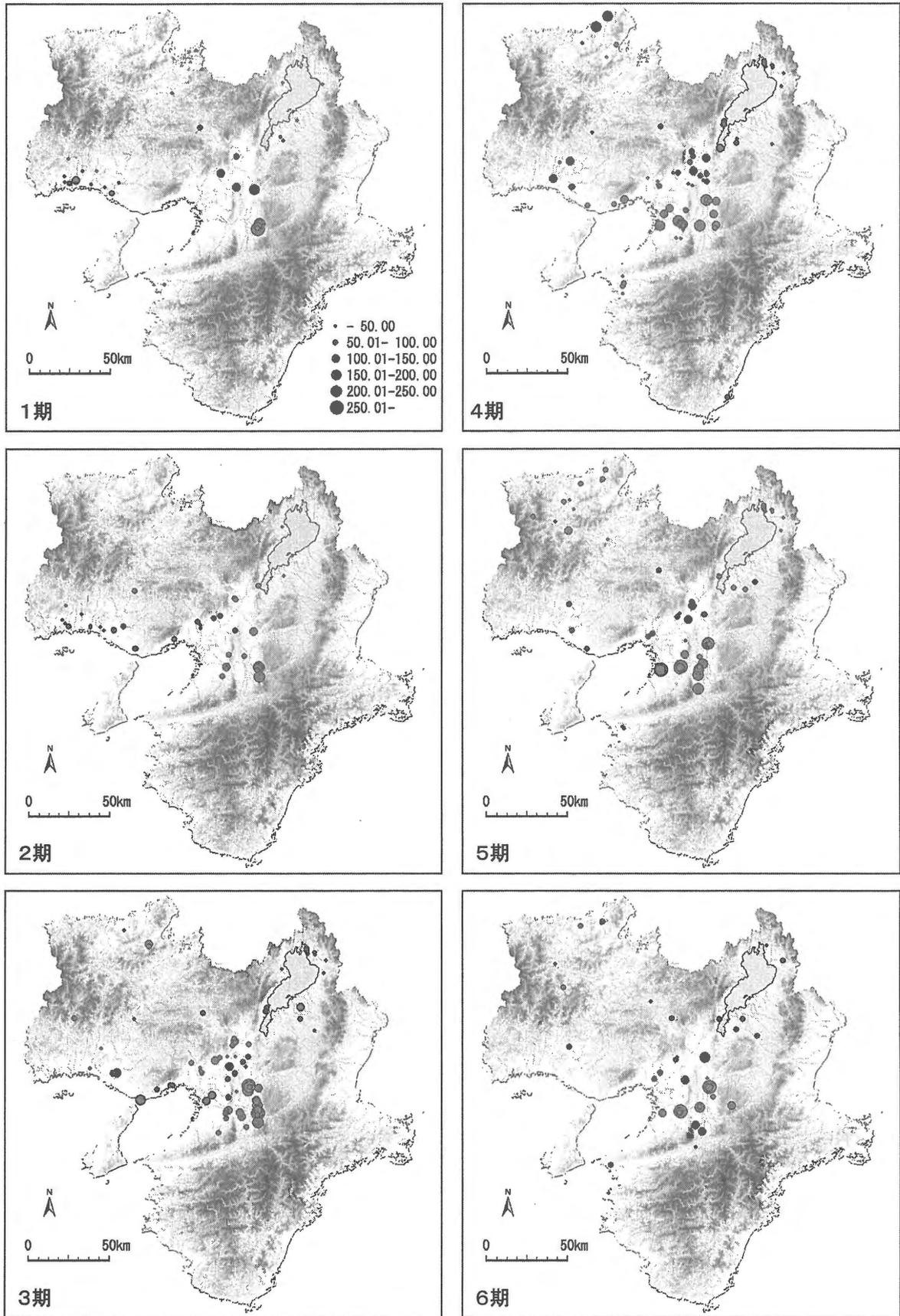


図-1 前方後円墳の時期別・規模別の分布

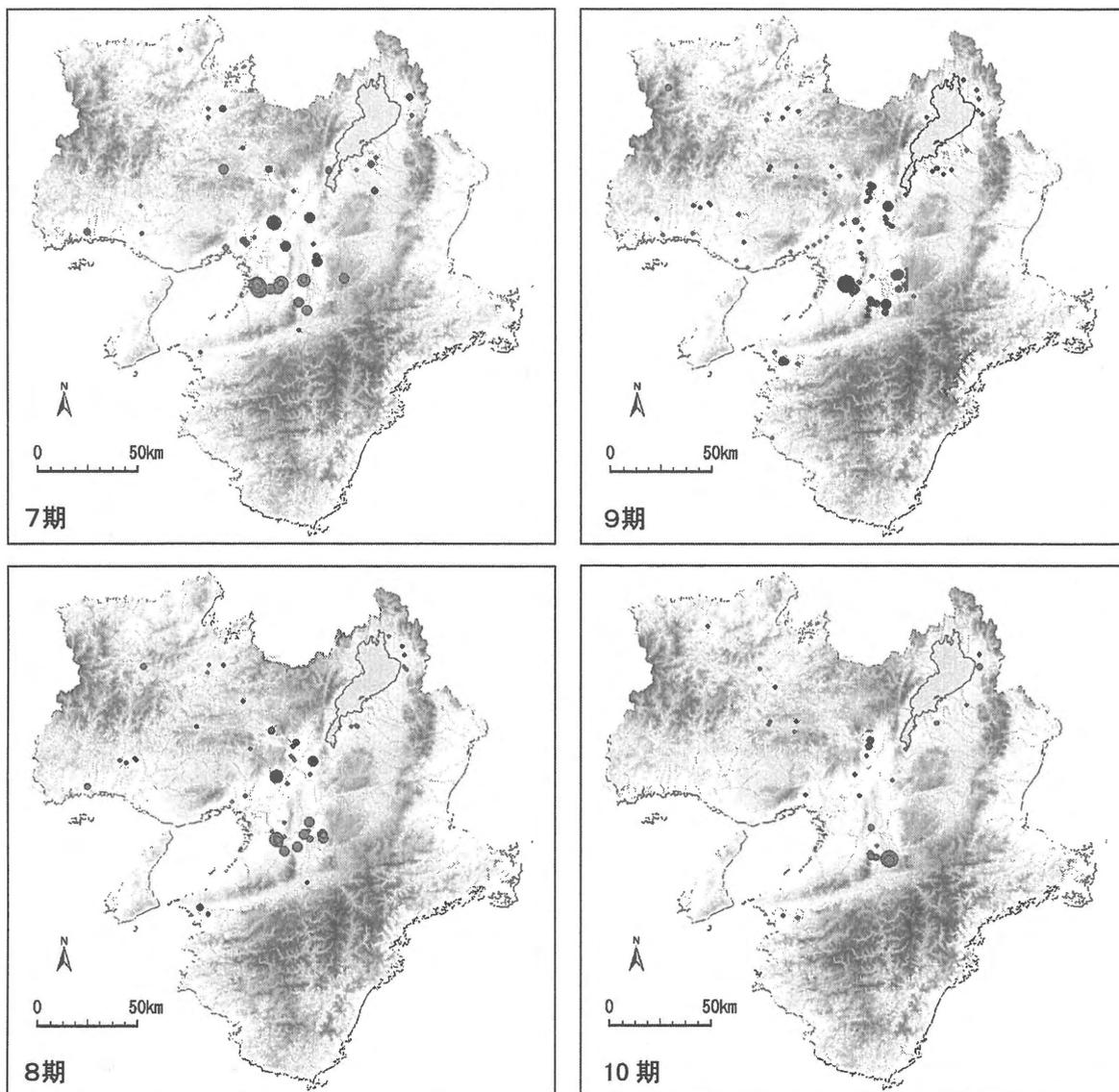


図-1 前方後円墳の時期別・規模別の分布

域は、2 期に平尾城山古墳(京都府木津川市山城町平尾城山、110m)が築造されるが、3 期には 100m超の前方後円墳は見られなくなり、南隣の奈良盆地北部の佐紀盾列古墳群に五社神古墳など 200m超の大前方後円墳が6 期にかけて築造されるようになる。これをどのように解釈するかは、地理的に近接する両地域での各前方後円墳の副葬品などの詳細な比較検討が必要であろう。

3 期になると 100m超の古墳の分布が広がり、播磨東部(五色塚古墳、194m)、行者塚古墳、丹後(蛭子山1号墳、京都府与謝郡与謝野町加悦、145m)、近江(安土瓢箪山古墳、滋賀県蒲生郡安土町桑実寺、134m)に登場するが、4 期に丹後では神明山古墳(京丹後市丹後町、190m)、網野銚子山古墳(京丹後市網野町、

198m)、近江では膳所茶臼山古墳(滋賀県大津市膳所、120m)、が築造され、5 期には黒部銚子山古墳(京丹後市弥栄町、100m)のみとなり、新たに但馬に池田古墳(兵庫県朝来市和田山町、136m)の出現を見るが、その後はこれらの地域では 100m超の古墳はみられない。ただし、7 期に丹波に雲部車塚古墳(雲部陵墓参考地、140m)が出現するが、付近では前後に前方後円墳はみられない。

4 期の前方後円墳の分布上の特色として、近畿中央部のなかでも奈良盆地への集中が弱まり、古市古墳群の前方後円墳の規模拡大と数の増加がうかがえる。6 期から7 期にかけては奈良盆地における大前方後円墳築造の減少が顕著になり、代わって古市古墳群から百舌鳥古墳群へと大前方後円墳築造の中心が移動し

ている。8期以降は8期の岡ミサンザイ古墳(伝仲哀天皇陵古墳、242m、大阪府藤井寺市)と10期の見瀬丸山古墳(奈良県橿原市見瀬町、五条野町、310m)を除いて墳長が150mを超える大型前方後円墳はみられなくなる。

#### 4) 前方後円墳の規模と副葬品

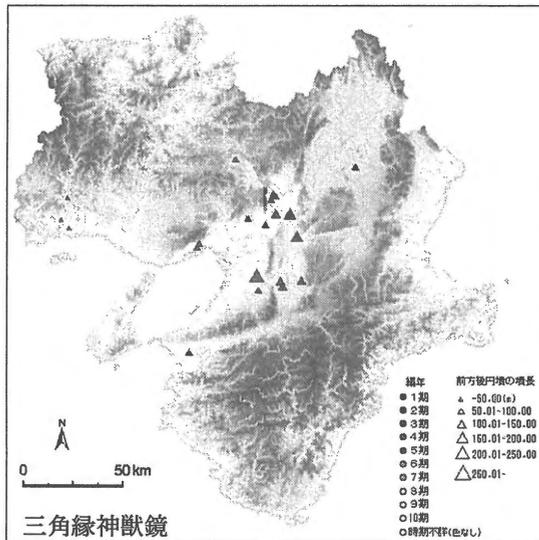
次に、前方後円墳の規模と出土する副葬品とをクロスさせて分布図を作成し、規模と副葬品に関する分布傾向について若干検討することとした。

まず、中国鏡の三角縁神獸鏡を副葬する前方後円墳は、墳長100m以上が10基で最大は津堂城山古墳(大阪府藤井寺市)の208mである。三角縁神獸鏡は旧大和、山城、河内国域では墳長100m以上の前方後円墳に副葬される傾向が強いが、淀川流域を中心に墳長80m~120mの9基に副葬され、その時期は大

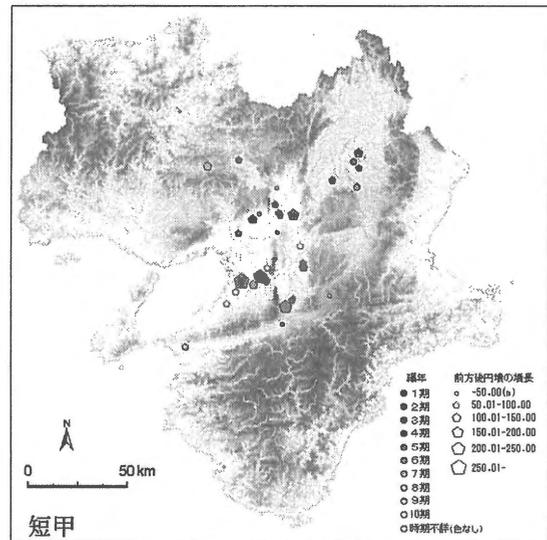
規模な1期の椿井大塚山古墳と6期の久津川車塚古墳を除くと2期~4期に限られる。また、播磨西部の吉島古墳(吉島松山古墳)、龍子三ツ塚1号墳、権現山51号墳の3基は墳長がそれぞれ30m、38m、48mと小規模であることが注目される。画文帯神獸鏡は半数近くが三角縁神獸鏡と伴見し、分布傾向はほぼ同様であるが、淀川流域からは少なくなっている。規模についてみると、画文帯神獸鏡を出土する前方後円墳で墳長100m以上は6基で、久津川車塚古墳が墳長180mで最大である(図-2)。

石製腕飾類についてみると、奈良盆地への集中度が高く、150mを超える大規模な前方後円墳に多い傾向がうかがえるが、その他の地域では100mを超える前方後円墳での出土は少ない。

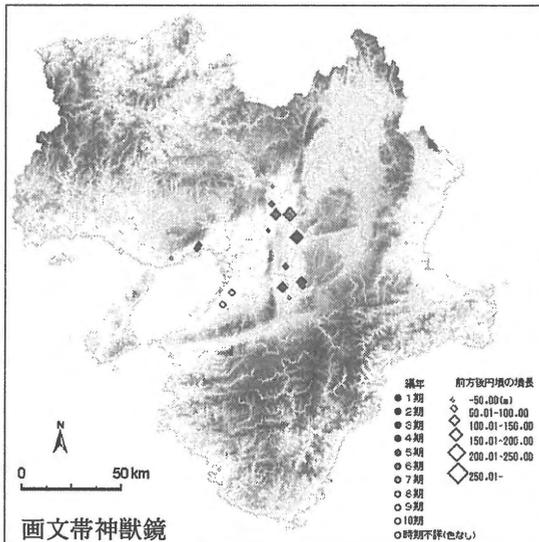
武具の短甲についてみると、大山古墳(伝仁徳天皇



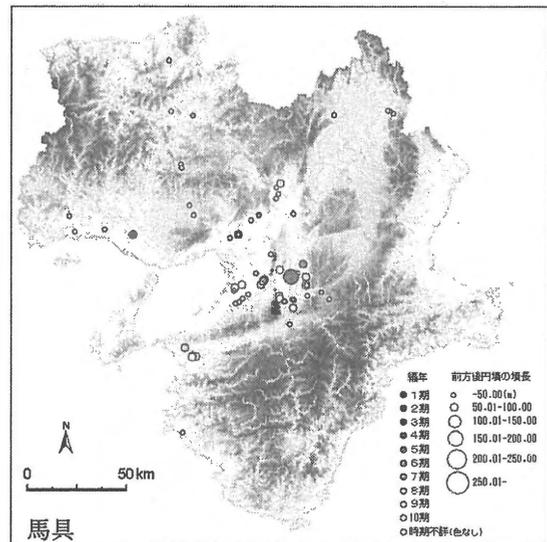
三角縁神獸鏡



短甲



画文帯神獸鏡



馬具

図-2 中国鏡の時期別・規模別分布

図-3 短甲と馬具の時期別・規模別分布

陵古墳)のような墳長 486mの巨大古墳から 20~30mの小規模なものまでみられ、規模との明らかな関連は見出し難い。馬具についてみると、200mを超える大前方後円墳には副葬が見られないことは興味深い。奈良盆地の島ノ山古墳(195m)が最大で、100m超ではほかに加古川下流の行者塚古墳(110m)があるのみで、総じて 50m以下の小前方後円墳に副葬される傾向が強うかがえる(図-3)。

武器についてみると、鉄剣、鉄刀ともに奈良盆地や河内平野では墳長 100m以上の比較的大きな前方後円墳への副葬が目立つが、近畿地方全体でみると明らかな規模との関連はみられない。ただし、播磨西部では、墳長は 70m および 34.4m と比較的小規模な前方後円墳にみられる。

工具についてみると、2 期の桜井茶臼山古墳(奈良県桜井市、207m)、3 期のメスリ山古墳(奈良県桜井市、推定 250m)、5 期の室大墓古墳(奈良県御所市)を除くと、200mを超える大前方後円墳には副葬されていないという馬具と同様の特徴が指摘できる。

#### 4. まとめにかえて

これまで前方後円墳に関してさまざまな視点から検討がなされてきた。そのなかで分布論的検討も重要な位置を占めたが、分布図を提示して具体的な分布について論じたものはごく少数で、例外的でさえあったといっても過言ではない。研究者のイメージのなかに分布図は存在していたといってもよいであろう。しかし、それでは十分な議論の展開は期待できないことは多言を要さない。そこで、本報告は前方後円墳に関する GIS データベース構築の途中経過として作成した前方後円墳の副葬品等に関する分布図からどのような分布傾向がうかがえるかについて若干の検討を加えたものである。

対象とする地域を近畿地方に限定したため、分布の解釈にあたって留保が必要であることや、前方後円墳体制に関する検討に資するには不十分であり、より広域的な視点から検討すべきことなどは今後の課題とした上で、GIS を活用した分布図作成の成果について整理しておきたい。

・データベース作成に労力は要するものの、規模、埴輪などの外表施設、副葬品など様々な属性や要素に関する分布図の作成が容易に可能であり、考古学者によるより専門的な分布論的検討による成果が期待される。

・10 期編年と諸属性等をクロスさせて分布を観察することにより、分布現象の時空間的推移を詳細に検討することが可能である。

・具体的に明らかとなった点として、大和川が河内平野に出てきた位置とそれに連続する地域に所在する玉手山古墳群から古市古墳群における大型前方後円墳の築造が、奈良盆地を含めた他地域には見られないほど長期間にわたり継続することが指摘できた。

・データベース作成地域を拡大して、より広域的視野からの分布論的研究が必要である。

以上、今後前方後円墳 GIS データベースの活用により、一層詳細な検討を加えることによって、従来指摘されなかった事象を見出し、前方後円墳体制の検討にも資することを期待したい。

#### 注および参考文献

- (1) 東京大学史料編纂所では科学研究費基盤研究「荘園絵図の史料学とデジタル画像解析の発展的研究」において「伯耆国河村郡東郷荘下地中分絵図」を事例に地理情報を加味して GIS を活用した「東郷荘総合情報閲覧システム」を試作しているのは注目される。
- (2) たとえば、渡辺澄夫(1951): 畿内型庄園の名構造に関する一試論—大院領大和国若槻庄を中心として—、史学研究 46、pp.1~19(同(1956): 『畿内庄園の基礎構造 — 特に均等名庄園・攝関家大番領番頭制庄園等に関する実証的研究—』所収、吉川弘文館)をはじめ、金田章裕(1971): 奈良・平安期の村落形態について、史林 54-3、pp.49~117(同(1985): 『条里と村落の歴史地理学研究』所収、大明堂)など枚挙に暇がないほどである。
- (3) 数値は『前方後円墳集成』近畿編(1992 年)および東北・関東編(1994 年)による。
- (4) 寺沢薫(1990): 弥生時代の円丘墓、古代学研究 123。
- (5) 都出比呂志(1991): 日本古代の国家形成論序説—前方後円墳体制の提唱—、日本史研究 343、pp.5-39。
- (6) 都出: 前掲書
- (7) 白石太郎(1969): 畿内における大型古墳群の消長、考古学研究、16-1、pp.8-26。
- (8) 近藤義郎(1983): 『前方後円墳の時代』、岩波書店。
- (9) 白石太郎(1999): 『古墳とヤマト政権—古代国家はいかに形成されたか—』、文春新書

- (10)広瀬和雄(2004):畿内五大古墳群の特質(広瀬ほか編『古墳時代の政治構造:前方後円墳からのアプローチ』所収)、青木書店、pp.17-35。
- (11)吉村武彦(1998):『古代天皇の誕生』、角川選書、角川書店。
- (12)近藤義郎:前掲書。広瀬はこれに対して異議を唱え、「〈亡き首長がカミになって共同体を守護する〉との共同幻想が前方後円墳を生み出した」とし、「前方後円墳は〈死した首長がカミとなって再生するための舞台装置〉であった」と主張している(広瀬(2003):『前方後円墳国家』、角川選書、角川書店、pp.112、ほか)。しかし、政治を表現するものであるとしている(広瀬:前掲書、p.113。)
- (13)新納泉(2005):経済モデルからみた前方後円墳の分布、考古学研究、52-1、pp.34-53。なお、前記したように本拠点の COE プログラムにおける「奈良盆地歴史地理データベース」は古代を中心としているが、その前史として古墳時代における奈良盆地の開発の状況を捉える一助にするために、前方後円墳の GIS データベース作成を構想しており、本報告はその成果の一部である。
- (14)上田宏範(1969):『前方後円墳』、学生社
- (15)代表的な研究に、小沢一雅(1988):『前方後円墳の数理』、雄山閣、がある。
- (16)出田和久(1992):『平成2・3年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書 古代九州における空間的組織化と空間システムの変化に関する地理学的研究』、大阪教育大学教育学部、38p。
- (17)近藤義郎編(1991-2000):『前方後円墳集成』1-6、山川出版社。
- (18)新納:前掲書。p.35。
- (19)新納:前掲書。pp.36~50。
- (20)新納(前掲書)も玉手山1号墳などの位置が河内から大和への経路の起点として重要であることを指摘している。p.49。

# GIS・数理モデルによる集落分布の立地分析

## Location Analysis of Settlement Pattern using GIS and Mathematical Model

石崎 研二

Kenji Ishizaki

奈良女子大学 文学部, 奈良市北魚屋西町

Nara Women's University, Kitauoyanishi-machi, Nara City, Nara

あらまし:本研究では, 明治前期の奈良盆地における集落分布をもとに, 集落の分布パターン, 中心地の階層構造などについて理論的・実証的に検討した。集落分布の密度の地域差, 現代と異なる中心地の階層構造などは, 近世の幕藩体制の影響が継承された中心地システムを反映したものであり, とくに奈良盆地に特有の格子状の交通路によって中心地の配置が規定されていたと考えられる。一般階層モデルを援用した中心地システムの階層構造および幾何学的特性から解釈すると, 明治前期の奈良盆地は階層分化する以前の供給原理が貫徹されていたと考えられる。

**Summary:** This paper examines the settlement pattern and the hierarchical structure of central places for the case of the Nara Basin in the early Meiji era. Regional difference of settlement density and central place system based on the lattice pattern of roads suggest that the hierarchical spacing of system reflected by the administrative setting of the Tokugawa era. Application of the general hierarchical model demonstrates that the central place hierarchy of the Nara Basin in the early Meiji era is characterized by a  $k=2$  system based on the marketing principle.

**キーワード:** 集落分布, 中心地システム, GIS, 数理モデル, 奈良盆地

**Keywords:** settlement pattern, central place system, GIS, mathematical model, Nara basin

### 1. はじめに

都市的集落の立地論とされる中心地理論(Christaller 1933; Lösch 1940)については, わが国でも様々な理論・実証研究が行なわれてきた。林(1986)によるオリジナルの中心地理論に関する理論的吟味とその改良モデルの展開や, 森川(1959)や碓井(1979)らによる中心地の階層区分に関する計量的手法の適用研究は, 中心地研究のみならず, わが国の理論・計量地理学の分野に多大な貢献をなしてきた。しかし, 理論から導き出される中心地システムと現実のそれとを比較検討し, 理論の妥当性を追求する, あるいは現実の中心地システムについて理論的洞察を加える, 「理論的実証研究」を明示的に掲げた研究は比較的少ないといえる。その理由のひとつとして,

抽象化のために非現実的な仮定を前提として構築された理論を, 現実地域に適用するための具体的な操作モデルが欠けていたことがあげられる。たとえば, カルトグラム(Getis 1963)や地図変換技法(Rushton 1972)などは, 理論の前提条件を現実に近いという点で, 理論と現実の中心地システムの比較が可能となる一手法(Sugiura 1991)であるが, 中心地理論の配置原理について考慮した中心地システム導出モデルとしての役割を果たすものではなかった。

以上のような問題意識のもとに, 筆者はこれまで, 中心地理論, とりわけ Christaller (1933)による理論の操作モデルを構築するために, 中心地理論の理論的吟味を行

ない、立地・配分モデル(石崎 2003)による理論の定式化を試みてきた(石崎 1992;1995)。その過程で、中心地理論の幾何学的特性に関する次なる知見を得ることができた。すなわち、中心地システムの基本的な図式である、供給原理(Christaller 1933)に基づく $k=3$ のシステムは、3つの下位の中心地がその上位の1つの中心地に包摂されるという関係をもっている。しかし、筆者がモデル構築の際に、理論の単純化のために想定した1次元(線形)の需要分布上では、供給原理に基づく中心地システムは $k=2$ のシステムになるのである(後述)。このことは、「需要分布の空間的次元ないしは形状によっては、同じ配置原理であっても異なる空間的配列・階層構造をもつ中心地システムが導出される」ことを示唆している。こうした特性は、理論で前提とされる等方性空間とは異なり、地形条件・交通条件などによって種々の形状を有する需要分布(具体的には集落分布)が前提とされる現実地域を考察する際にきわめて重要な点である。

そこで本研究では、交通体系の近代化以前である明

治前期の奈良盆地の集落分布を対象として、GISによるデータベース化と数理モデルを用いた空間分析を援用しつつ、中心地システムの配置原理と幾何学的特性に関する理論的実証研究を試みたい。

## 2. 研究の方法

本研究で対象とする奈良盆地の集落分布および中心地の立地に関しては、すでに水津(1968)、西田・碓井(1972)、藤田(1985)らによって検証されている。とくに藤田(1985)は、『大和国町村誌集』を用いて明治14年当時の戸数100戸以上の集落分布と中心地の階層区分に関する詳細な検討を試みている。本研究では、同じ『大和国町村誌集』を用いて、奈良盆地に相当する範囲のすべての集落について以下の要領でデータベース化した。

- 1)近代の奈良盆地の集落分布をおおよそ確認できる、日下伊兵衛(1934)『最近調査 大日本分縣地図併地名総覧 昭和9年度』を用いて、奈良県の地図をスキャナーで読み取り、その画像データと『数値地図2500』を重ね合わせた。重ね合わせはESRI社のGIS

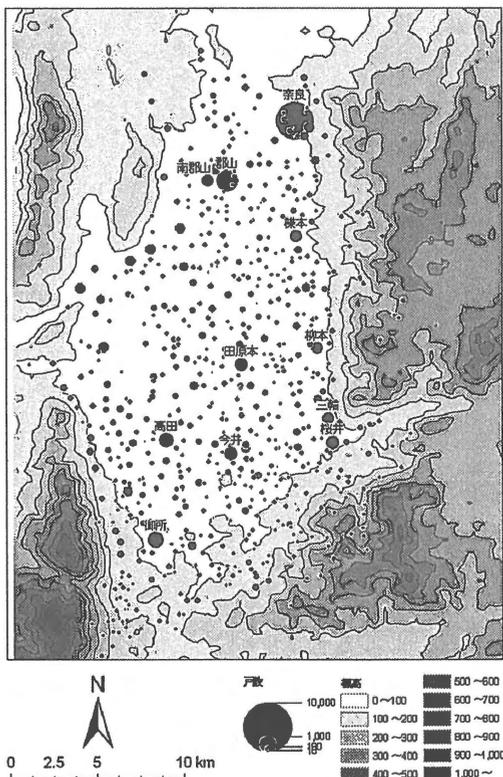


図1 明治前期の奈良盆地における集落分布  
資料：『大和国町村誌集』

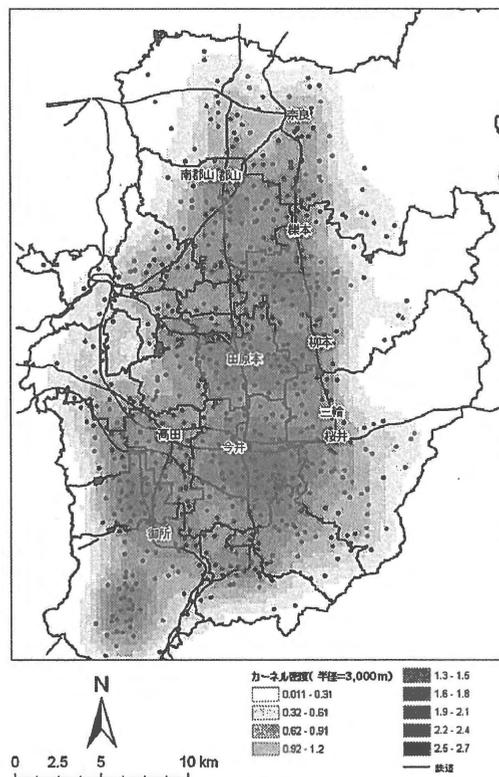


図2 カーネル密度推定による集落分布密度

ソフト Arc GIS ver. 9.1 のジオリファレンス機能を用いた。

2)さらに、『数値地図 25000 (地図画像)』による 25,000 分の 1 地形図の画像データを重ね合わせ、『大和国町村誌集』に記載された集落名と実際の集落の位置を照合しながら、集落の中心を特定し、点データを作成した。なお、照合の際に集落の位置が不確定な場合は、より精細な電子地図であるアルプス社『プロアトラス SV2』を用いて集落の同定を試みた。なお、集落の中心を特定する際は、『大和国町村誌集』に記載されている各集落の主要寺院から再近隣の道路辻を基本とした。

3) Microsoft 社エクセル 2003 を用いて、『大和国町村誌集』による各集落の属性情報をデータベース化し、2)で作成した地図データとリンクさせた。

以上の手順の結果、本研究では図1に示す 669 の集落を対象とする。

本研究では、まず、藤田(1985)らによっても検証された奈良盆地の集落分布のパターンと中心地の階層区分について若干の考察を加える。さらに、Parr(1978)による一般階層モデルを用いて、中心地システムの階層構造および幾何学的特性について検討し、中心地理論の配置原理に着目した解釈を試みたい。

### 3. 集落分布の立地分析

明治前期の奈良盆地の集落は、藤田(1985)でも指摘されているように、戸数が50戸前後の集村型の集落が多く、近世の幕藩体制および藩政村が継承された、村落共同体としてのまとまりがある。ただし、野崎(1977: 99)によれば、地形的に山間部と平坦部では郡別の集落規模に差異が認められ、平坦部では集落規模が平均 78.3 戸であるのに対して、山間部のそれは 53.3 戸である。図1をみると、山間部では小規模な集落が疎らに分布しているのに対して、盆地内では 100 戸以上の比較的大きな集落が密に分布しているのがわかる。

かかる点分布パターンの疎密を分析する方法として、カーネル密度推定 (Bailey and Gatrell 1995) がある。図2は半径 3km の円を検索範囲として集落分布のカーネル密度推定の結果を示したものであるが、奈良盆地の中でも奈良を中心とする北部に比べて東南部に密度が高い地域が複数存在していることがわかる。これは、平坦部の広狭の違いという地形的な要因や集落発達の歴史的背景を反映したものと考えられるが、中心地間の機能的関係から解釈すると、北部には奈良および郡山という大規模な集落が存在することによって、周辺集落の発達が阻害され、中規模集落が分散する東南部では、それらを補完する小規模集落が数多く発達したと考えることも可能であろう。

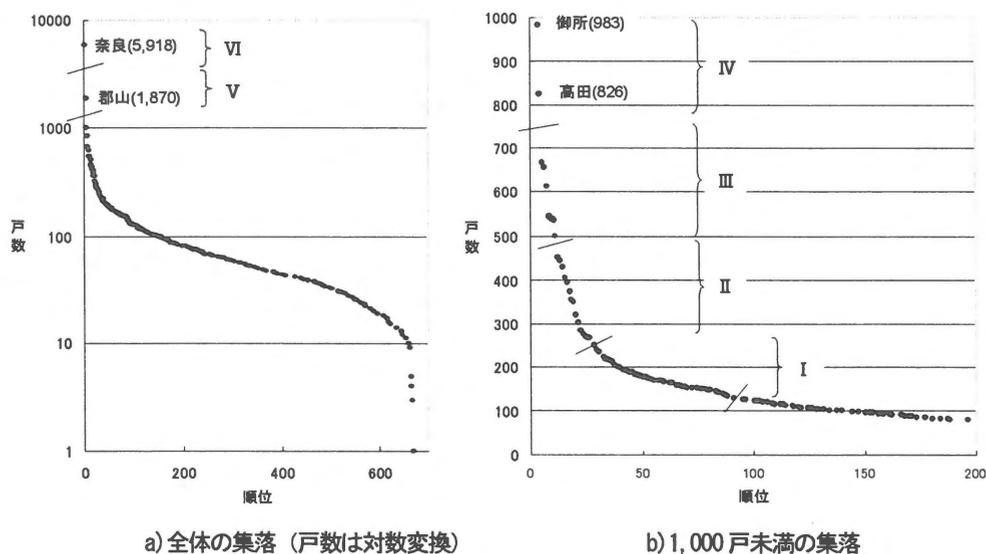


図3 集落の順位規模関係

そこで、藤田(1985)と同様に、各集落の戸数をもとに集落規模による中心地の階層区分を試みた。図3は集落規模による順位と集落規模との関係を示しているが、いわゆる都市の順位規模法則に従った分布を呈している。奈良と郡山は他集落に比して規模が突出しており、各々が上位の中心地として位置づけられる。さらに、戸数が1,000戸未満の集落について詳しくみると(図3-b)、順位規模曲線にはいくつかのブレイクポイントが確認できる。これらのブレイクポイントを区切り目として階層区分した結果、奈良盆地の中心地は図3に示すI～VIの6階層に区分することができる。第I階層よりも規模が小さい130戸以下の計579の集落は、中心機能を有した中心地というよりも、農業集落あるいは基礎的集落と考えられるため、中心地の階層区分からは除外した。

図4は階層別の中心地の分布を示しているが、先の図2でも指摘したように、奈良盆地北部では、奈良と郡山の2大中心地の勢力が強く、第III、IV階層の中位中心地が発達していない。それに対して南部では、中位中心地が比較的等間隔に分布しており、中心地理論で想定される

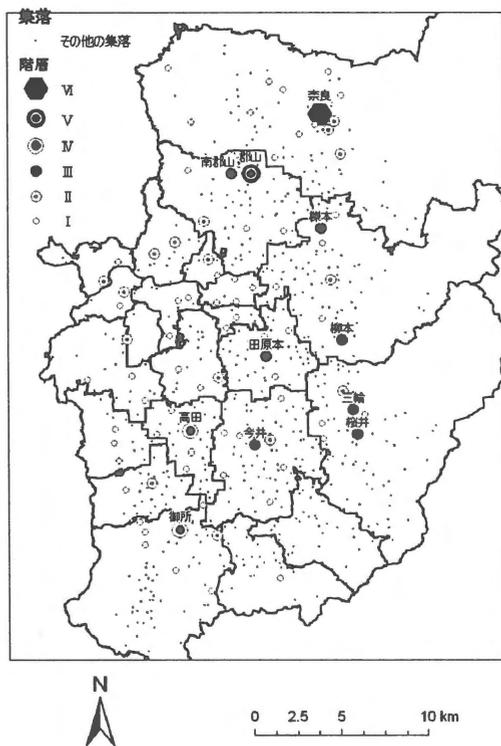


図4 中心地の分布

ような中心地システムの存在を確認できる。また、集落密度が低い盆地西部の王寺周辺では(図2参照)、中位以上の中心地は発達しておらず、それらを補完するように第II階層の下位中心地が多数分布している。

明治前期における奈良盆地の中心地の分布は、多分に近世の中心地システムが継承されていると考えられる(藤田 1985)。たとえば、城下町であった郡山は隣接する北郡山と南郡山を合わせると、2,848戸の大規模な集落となり、奈良以外の中心地と比較すると、当時は突出した中心地と位置づけられる。また、樺本(第III階層)と丹波市(第II階層、現・天理)、今井(第III階層)と八木(第II階層)など、現在の中心地としての位置づけとは逆のケースも見受けられる。これらのことから当時の中心地システムは、鉄道網や道路網の発達にともなう交通体系の変化を契機とする、近代以降の中心地システムの再編成によって成立した、現在の中心地システムとは異なる様相を呈していたことがうかがえる。

#### 4. 中心地の階層構造とその理論的吟味

奈良盆地の中心地システムの階層構造に関しては、すでに西田・織田(1972)や藤田(1985)において、階層間の中心地数の比が検討されている。藤田(1985)は奈良県全域の階層別中心地の数から、明治前期の中心地システムがChristaller(1933)の示した $k=3$ のシステムに類似していることを示し、西田・織田(1972)では、昭和44年度事業所統計調査を用いて、奈良盆地の中心地が四角形網の主要道路上に形成されるといふ、 $k=2$ のシステムを見いだしている。

中心地の階層構造に関する階層間の中心地数の比は、同時に中心地システムの幾何学的特性に関わるものである。そこで本研究では、Parr(1978)による一般階層モデルを用いて、明治前期の奈良盆地における中心地システムの階層構造および幾何学的特性について検討したい。Parr(1978)の一般階層モデルは、次式によって理論的な中心地数を導出し、現実の中心地数に近似させた場合の $k$ 値、すなわち階層間の中心地数の比を推定するものである。

$$f_m = \prod_{i=m}^{N-1} k_i - \prod_{i=m+1}^{N-1} k_i \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $f_m$ は階層  $m$  の中心地数、 $k_i$ は階層  $i$  の  $k$  値、 $N$  は最上位の階層である。

表1は一般階層モデルによって推定した  $k$  値を示しているが、参考のために藤田(1985)による階層別中心地数の結果にも適用している。また、先述のように郡山は、単独の場合と北郡山、南郡山が連帯して1つの中心地を形成しているとみなす場合が考えられるため、前者を奈良盆地 I、後者を奈良盆地 II と分けてモデルを適用している。

藤田(1985)とは階層区分に用いた集落規模が若干異なることと、吉野川流域や山間部を除いた奈良盆地に限定していることの違いもあり、両者を単純に比較することはできないが、いずれも階層によって異なる  $k$  値が混在する混合階層システムとなっているのが特徴である。また、Christaller(1933)が提示した  $k=3$ 、 $k=4$  のシステム以外は  $k=2$  のシステムが検出されており、本研究の対象集落ではその傾向が顕著である。とくに北郡山と南郡山を郡山に含めた奈良盆地 II の場合、第 III 階層以上の中位中心地、上位中心地はすべて  $k=2$  のシステムと判定される。これは、西田・織田(1972)で示唆されたことを証左する結果といえる。

では、 $k=2$  のシステムとは、どのような特性をもつ中心地システムなのだろうか。西田・織田(1972)や Parr(1981)でも示されているように、 $k=2$  のシステムは交通路が格子状に発達した四角形網上に中心地が配置された場合に成立する中心地システムであり、その市場地域もまた四角形となる。Christaller(1933)や Lösch(1940)で想定さ

れている空間は2地点間の直線距離が最短となる平面、すなわちユークリッド空間であるが、格子状の交通路によって規定される空間は、マンハッタン距離で定義される市街距離空間である。水津(1968: 549)が指摘しているように、奈良盆地の中心地および集落の分布は、条里制の施行にともない交通路が直交上に発達した影響を多分に受けていると考えられる。

四角形網の中心地システムについて、理論的に体系化を図った林(1986: 625)によれば、 $k=2$  のシステムは消費者の居住地からできるだけ近い位置に中心地を配置した結果であると解釈できる。そして、 $k=4$  のシステムを初期条件とした場合に、ある中心機能の成立閾が変化することによって一部の中心地の階層が昇格あるいは降格し、その結果、階層が細分化されて成立したものが  $k=2$  のシステムであると考えられる(林 1986: 637-640)。

図5は、4階層からなる四角形網の中心地システムにおける  $k=4$  のシステムと  $k=2$  のシステムを示している。 $k=4$  のシステム(図5-a)のうち第 I ~ III 階層の一部の中心地が、それより上位ないしは下位の階層との間に新たな階層を形成することによって、図5-b に示す  $k=2$  のシステムに変化するのである。こうした中心地システムの変形や、その結果生じる混合階層は中心地システムの動態的な変化の所産であると解釈できる(Parr 1981)。

この解釈を敷衍するならば、当初細分化されていた中心地の階層が、交通体系の変化や競争的優位性の獲得をめぐる中心地間の競合によって淘汰され、階層分化がより明確になるような、たとえば図5-b から図5-a への変化も想定しうる。すなわち、近世の幕藩体制の影響が色濃く残る明治前期の奈良盆地の中心地システム( $k=2$  の

表1 一般階層モデルによる中心地の階層構造

階層	藤田(1985)				奈良盆地 I				奈良盆地 II			
	集落規模 (戸)	現実	理論	k値	集落規模 (戸)	現実	理論	k値	集落規模 (戸)	現実	理論	k値
VI	5,918	1			5,918	1			5,918	1		
V	901 ~ 2,000	2	2	3	1,870	1	1	2	2,848	1	1	2
IV	561 ~ 900	6	6	3	701 ~ 1,000	2	2	2	701 ~ 1,000	2	2	2
III	481 ~ 560	6	9	2	501 ~ 700	7	8	3	501 ~ 700	6	4	2
II	251 ~ 480	17	18	2	251 ~ 500	17	12	2	251 ~ 500	16	16	3
I	100 ~ 250	152	108	4	131 ~ 250	62	72	4	131 ~ 250	62	72	4

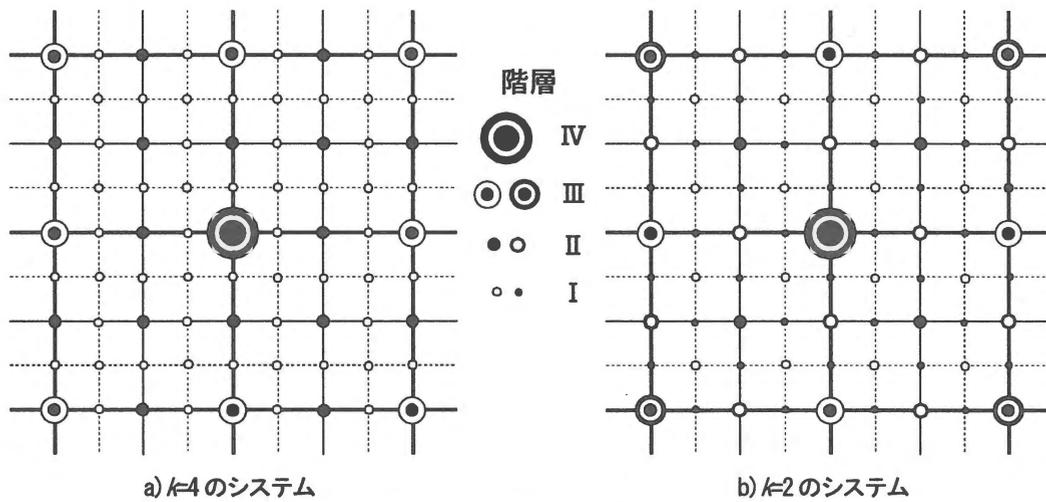


図5 四角形網の中心地システム

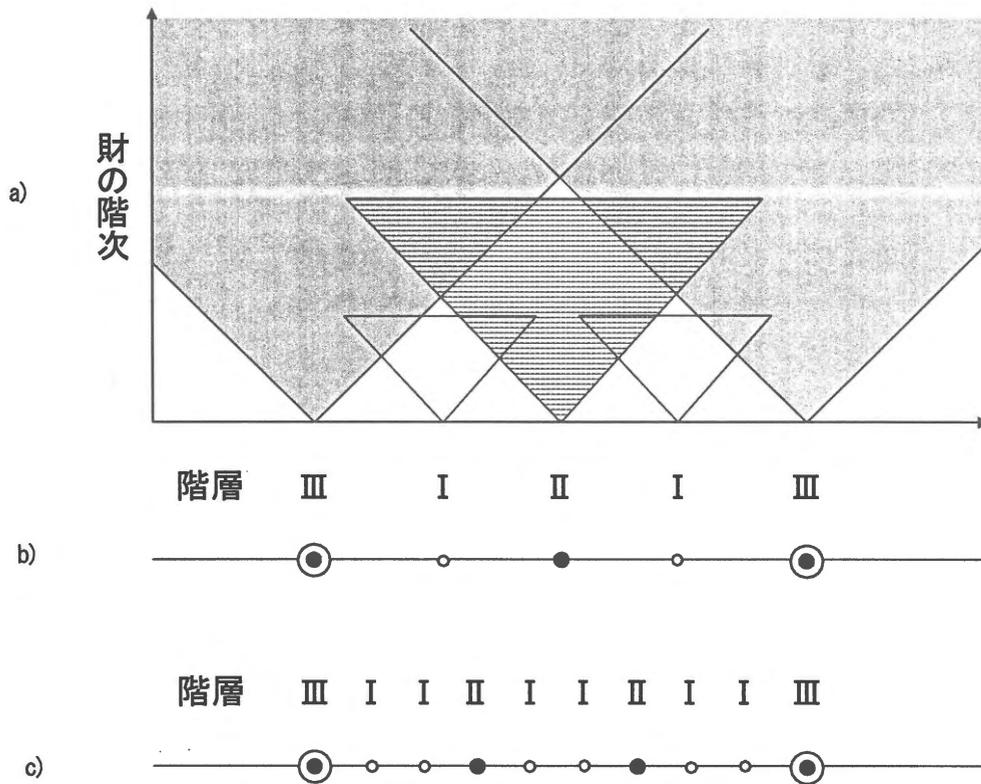


図6 供給原理に基づく1次元の中心地システム

a), b)は石崎 (1995), c)はDacey et al. (1974)に基づき作成

システム)が、やがて近代以降の再編成にともなって明瞭な階層構造を有するようになり( $k=4$ のシステム), その過程で中心地の衰退や階層の逆転が生じたと考えられることができる。

最後に、中心地の配置原理との関係について述べたい。上述の $k=2$ のシステムや $k=4$ のシステムは、中心地

の配置が交通路に規定された中心地システムであり、これはChristaller (1933)が示すところの交通原理に相当すると考えられる。図5でも示されているように、上位中心地間の中間地点に、それより下位の中心地が配置される中心地システムは、六角形網の交通原理に基づく中心地システムでも共通した幾何学的特性である。しかしな

がら, Christaller の中心地理論の配置原理に関して再検討を試みた石崎(1995)によれば, 中心地が有する財を効率的に供給することを目的とした, 供給原理に基づく1次元の中心地システムは,  $k=2$  のシステムとなるのである(図6-a, b). これは Dacey et al. (1974)による1次元の供給原理モデル(図6-c)とは明らかに異なる. 上位中心地の中間地点に, それより下位の中心地が配置される図6-a, bの1次元のシステムは, すなわち線状の交通路で規定される中心地システムである. つまり, 奈良盆地にみられる中心地システムは, 交通路に規定されつつも, 実は供給原理が貫徹された階層構造を有していたと考えられるのではなかろうか.

## 5. むすびにかえて

中心地理論は, 都市的集落である中心地が均質な六角形網上に最適配置されるという, その幾何学的特性が強調されるあまり, 抽象的・静的なイメージから脱却できなかつたと思われる. しかし筆者は, 理論の数理モデル化によって種々の仮定緩和を考慮した柔軟な中心地理論の援用が可能であり, その意味で現代的な価値が十分にあると考える. 本研究では, 明治前期の奈良盆地の集落分布に関して, 動的視点も含めつつ中心地理論を基盤とする解釈を試みた. 中心地システムの動的な変化を検討するためには, 近代以降の奈良盆地の中心地に関するデータベース化とその分析が必要になろう. また, 最後に述べた配置原理との関係については, 中心地理論の供給原理をモデル化した石崎(1995)による立地・配分モデルを援用することによって, より解釈を深化させることができると考えられる. これらは今後の課題としたい.

本研究を遂行するに当たっては, 平成19年度日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C)(代表:杉浦芳夫)および平成16~19年度文部科学省「21世紀COEプログラム」(代表:舘野和己)の一部を利用した.

## 文献

- 石崎研二 1992. 立地・配分モデルによるクリスタラー中心地理論の定式化の試み. 地理学評論 65A: 747-768.
- 石崎研二 1995. クリスタラーの中心地理論の配置原理に関する一考察—供給原理から一般化最大カバー問題へ—. 地理学評論 68A: 579-602.
- 石崎研二 2003. 立地・配分モデル. 杉浦芳夫編『地理空間分析』61-83. 朝倉書店.
- 碓井照子 1979. 中心機能の階次と中心地階層構造について. 人文地理 31: 481-506.
- 水津一郎 1968. 地域における結節システムの原理—その社会的検討—. 人文地理 20: 544-569.
- 西田和夫・織田照子 1972. 奈良盆地における中心地の階層序列とその分布パターン. 奈良教育大学紀要 21(1): 69-81.
- 野崎清孝 1977. 奈良盆地の村落構成. 奈良大学紀要 6: 98-114.
- 林上 1986. 『中心地理論研究』大明堂.
- 藤田佳久 1985. 明治期の奈良県における行政領域の成立と中心地システム. 愛知大学総合郷土研究所紀要 30: 61-79.
- 森川洋 1959. 広島県における中心集落の分布とその遷移. 地理学評論 32: 595-613.
- Bailey, T. C. and Gatrell, A. C. 1995. *Interactive Spatial Data Analysis*. Harlow: Longman.
- Christaller, W. 1933. *Die zentralen Orte in Suddeutschland*. Gustav Fischer: Jena. クリスタラー著, 江沢譲爾訳 1969. 『都市の立地と発展』大明堂.
- Dacey, M. F., Davies, O., Flowerdew, R., Huff, J., Ko, A. and Pipkin, J. 1974. *One Dimensional Central Place Theory*. Northwestern University, Studies in Geography 21, Evanston.
- Getis, A. 1963. The determination of the location of retail activities with the use of a map transformation. *Economic Geography* 39: 14-22.

- Lösch, A. 1940. *Die räumliche Ordnung der Wirtschaft*.  
Fischer: Jena. レッシュ著, 篠原泰三訳 1968. 『レッシ  
ュ経済立地論』 大明堂.
- Parr, J. B. 1978. Models of the central place system: a  
more general approach. *Urban Studies* 15: 35-49.
- Parr, J. B. 1981. Temporal change in a central-place  
system. *Environment and Planning A* 13: 97-118.
- Rushton, G. 1972. Map transformations of point patterns:  
central place patterns in areas of variable population  
density. *Papers of the Regional Science Association* 28:  
111-129.
- Sugiura, Y. 1991. A map-transformation approach to the  
location of central places: the case of the central Kanto  
region in preindustrial Japan. *Environment and Planning  
A* 23: 969-985.

# 透過性を持つ能装束のリアルタイム表現法 Real-time Representing of Noh Gossamer Costume

蔡 康穎, 尹 新, 田中 弘美  
Kangying Cai, Xin Yin, Hiromi T. Tanaka  
立命館大学  
Ritsumeikan University

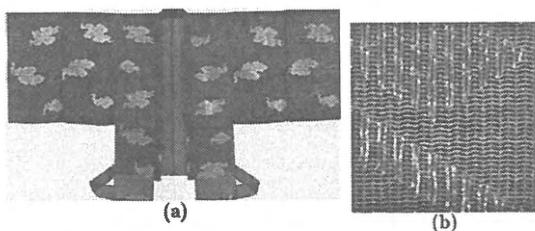
**あらまし:** 能装束は日本の重要文化財の一つであり、能装束に関する表現法の研究は活発的に行っている。本研究は、透過性を持つ能装束のリアルタイム表現法を提案する。透過性を持つ能装束を表現するとき、3次元の能装束を幾つかレイヤに分割するための計算時間がかかる。ここで、その3次元の計算を避け、すでに生成した2次元の情報を用いて計算を行い、計算時間を減少することができる。また、この手法は能装束以外にも適用できる。

**Summary:** Noh costume is one important cultural asset in Japan and some studies are carried out to present the appearance of the Noh Costume. In this paper, a real-time representing technique of Noh gossamer costume is proposed. Usually, the 3D Noh costume is divided to some layers to present the gossamer costume and computing time is very long. Here, the 2D information is used to compute new color on the Noh gossamer costume directly and the computing time is decreased. This technique can be used to represent other transparent objects also.

**キーワード:** 能装束, リアルタイム, 表現, コンピュータグラフィックス

**Keywords:** Noh costume, real-time, representing, computer graphics

## 1. Introduction



**Figure 1:** (a) Example of Japanese Noh Gossamer Costume. (b) Closeup of gossamer textile.

Noh is a classical Japanese performance form which combines elements of dance, drama, music and poetry into one highly aesthetic stage art. It has been performed since the

14th century and is still popular throughout Japan now. Currently there exists many ancient Noh costumes. Some photos of Noh costumes are shown in Figure 1. The oldest surviving Noh garments date from the 15th century during the reign of the sixth shogun, Yoshimasu (reigned 1440-1473). For protection reason, these precious culture heritage can not be exhibited frequently. The aim of our research is to digitalize these heritages and provide an interactive and flexible observation way to the users. We think it will be helpful to make more and more people become familiar with Japanese Noh art. There are two problems need to be addressed, how to represent the surface appearance of the woven fabric and how to provide interactive walkingthrough.

Fabric's mesostructure plays an extremely important role in the reflectance behavior of cloth. According to how the mesostructure is reconstructed, cloth rendering techniques can be divided into two types. The first strategy explicitly

models the mesostructure, renders it using different lighting models and rendering techniques and thus lack generality. The second category measures the reflectance properties of a given textile and then uses the result for realistic rendering. The optical behavior of the yarns and the fabric mesostructure can be described by the bidirectional texture function (BTF), which describes how a planar texture probe changes its appearance under different illuminating and viewing directions. Considering of the uncertainty of yarn material and weave of Noh costume, we follow the second technique which is based on the measured BTF data.

In this paper, we focus on processing the Noh costumes made by gossamer textile which refers to those with loose open weave, as shown in Figure 1. The significant intervals between yarns make the gossamer Noh costume highly transparent. We achieve the interactive transparency rendering of Noh gossamer costume by depth peeling technique [9], which is a simple and robust algorithm for resolving order-independent transparency rendering on commodity graphics hardware. Depth peeling approach does not require sorting geometric primitives and can deal with intersecting polygons. However, its principal drawback is that a scene with maximum depth complexity  $D$  must be rendered  $D$  times. We enhance our depth peeling based transparency rendering in two effective ways to allow fast walkingthrough.

Most of current depth peeling based algorithms perform the z-range culling step in fragment shader. Thus the whole model need to be geometric transformed and rasterized in each rendering pass.

Making use of the horsepower of geometry shader, the latest programming component of GPU, we discard the polygons which have been wholly selected and rendered in geometry shader to avoid the unnecessary rasterization of them. Thus each rendering pass except the first one can be accelerated.

Our system further accelerate the interactive rendering of Noh gossamer costume by taking advantage of the coherence between adjacent frames.

In most cases, the appearance of the scene changes little from frame to frame when a viewer navigates through the virtual environment. We exploit this path coherence by caching one frame for possible reuse in many subsequent frames. The depth images representing different layers of the source frame are warped to current frame and then resorted to get correct transparency under current viewpoint.

Through this way, the complexity of our interactive rendering algorithm only relates with the resolution of the output window. Considering of the big number of polygons needed to describe various details of cloth (drape, crease etc.) and the possible several transparent objects in the scene, our interactive rendering efficiency can be improved through making use of the path coherence. The interactivity of our visualization system is also guaranteed by executing the depth

image warping operation on GPU. No retrieval from GPU to CPU is necessary.

An error metric that quantifies the discrepancy between the appearance of the cached depth images and original geometry is used to determine whether the warped depth images are likely to provide an adequate approximation of current frame. The error is calculated for each fragment and also accomplished by GPU. We use occlusion query [7] to know the number of fragments whose error for current frame is larger than some user specified threshold. When there are too many 'fault' fragments (also indicated by some user defined number), the next frame is rendered by the original geometry and exactly BTF mapping and cached as the new source frame.

The difference between our accelerated interactive visualization technique and other depth image based rendering (DIBR) algorithm such as LDI [21] is that our approach does not require a pre-sampling stage while it is necessary for most other DIBR systems. Most DIBR systems do not use scene geometry during interactive rendering no matter whether it is available or not. However, our system reuse the scene geometry when the cached data cannot meet the requirement of rendering current frame.

The main contribution of our approach is as follows:

- Propose an system of digitalization and interactive visualization of the culture heritage, Japanese ancient Noh gossamer costumes.
- Successful accelerate depth peeling algorithm for order-independent transparency rendering by getting rid of the rasterization of those polygons have already been wholly selected in the previous rendering passes. To our knowledge, other depth peeling approaches haven't included this effective step.
- Gain an satisfied speedup of walkingthrough by successful combination of geometry-based and image-based rendering. The switch between the two rendering strategies is flexibly controlled by the per frame error calculated on GPU. No pre-computation is needed.

## 2. Related work

### 2.1. Visualization of woven cloth

Modeling and rendering of textiles and clothing keep being an active research area in computer graphics because of their widespread presence in our daily life. Generally speaking, cloth can be divided into two types, knitwear and woven cloth. Rendering of knitwear focus on capture the fluffy nature of wool and the resulting self-shadowing due to the volume occupied by thick woolen yarn [10,8,6]. For woven cloth, the complex weave patterns needs special representation and creation techniques. [2, 3] addresses the problem of visualizing arbitrary complex weave patterns. [22] achieve the efficient and realistic visualization of cloth by using BTF.

Instead of fitting some BRDF model, [22] interactively renders cloth by using a principal component analysis of the captured BTF data. Our system adopts the same strategy for reproducing surface appearance of Noh costume. We also resolve the transparency rendering of cloth, which hasn't been addressed by [22].

## 2.2. Transparency rendering

The major challenge for rendering transparency is that, to achieve the correct compositing effect, the entire model needs to be resorted whenever the view point or scene geometry changes. On the contrary, only the front-most parts influence the rendering of opaque objects, which is a minimum-finding problem. Sorting is an time consuming and tedious step especially for complex scene and constantly deforming objects.

There exists a variety of techniques that exploits the massive computation power of the z-buffer graphics hardware to implement the crucial sorting task for transparency rendering.

Depth peeling [16,9] is the most widely used one due to its simplicity and robustness. The technique requires  $O(N)$  rendering passes to render order-independent transparency with depth complexity  $N$ . The total time complexity is  $O(N^2)$  as each render pass requires passing down all transparent geometry. [23] improves the time complexity of depth peeling from quadratic to linear, but requires the application to sort objects into depth batches. [15] proposes an acceleration by peeling multiple layers simultaneously per rendering pass via multiple rendering target (MRT) technique and read-modify-write (RMW) operations, which is similar with [4]'s k-Buffer. Other improvements, such as [24,1], lack generality as they require features not available in current generation commodity graphics hardware. Exploiting the power of latest geometry shader, we propose another effective enhancement of depth peeling technique without any hardware modification requirement. Our improvement of depth peeling can be easily integrated into other depth peeling based method.

## 2.3. Coherence in computer graphics

Coherence is based on the principle of locality, whereby "nearby" things do have the same or similar characteristics. Coherence properties have been exploited in a variety of different methods and techniques [10,12,21,17,5]. [10] exploits path coherence to accelerate walkthroughs of geometrically complex scenes. In the course of a walkthrough, images recently used are cached for reuse in subsequent frames. The visual artifacts are controlled by an error metric. The basic idea behind our acceleration method for walkthrough is similar with [21]. However, instead of estimating the error in object space as in [21], our system qualifies the discrepancy

by directly evaluating the rendered image by using the horsepower of GPU.

## 3. Measurement

We carried out the measurements using Optical Gyro Measuring Machine (OGM). As shown in Figure 2, OGM includes a four-axis motion device that can position a camera and a light source independently anywhere on the hemisphere under computer control. The measuring and post-processing step of the BTF data of gossamer textile is similar with [22]. Please refer to [22] for the details. The only difference is that the textile needs to be separated from the background in all the captured images. By using black background, most of the separation work can be automatically accomplished by comparing each pixel's RGB value with some threshold.

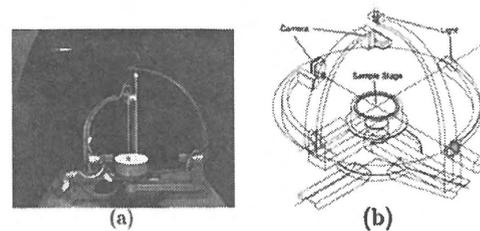


Figure 2: (a) OGM. (b) Illustration of OGM's motion device.

## 4. Transparency rendering

As mentioned earlier, our solution to order independent transparency rendering of gossamer Noh costume is based on the depth peeling technique. For clarity, we first give a brief introduction of the classical depth peeling approach and then describe our effective improvements using geometry shader.

### 4.1. Brief Review of Depth Peeling

Depth peeling, described in general by Mammen [1] and for GPUs by Everitt [9], solves order independent transparency on the GPU by multi-pass rendering. Within  $i^{th}$  pass the  $i^{th}$  layer (nearest to the eye) is selected and rendered. The layers-so-far buffer is maintained to accumulate the transparent layers already rendered. Besides the ordinary z-buffering, each pass performs an additional z-range culling, which only accepts fragments that are behind the corresponding z in the layers-so-far buffer, in fragment shader. The peeling process stops until no more transparent fragments are rendered (this can be determined by occlusion query [7]).

The principle drawback of depth peeling is that the algorithm needs  $O(N)$  rendering passes where  $N$  is the layer

number of transparent fragments in the scene. Each pass requires a complete geometric transformation and rasterization of all transparent polygons. Some scenes, such as particle systems for smoke, require  $O(N^2)$  rendering time, where  $N$  is the number of primitives and can be very huge.

#### 4.2. Z-range culling in geometry shader

Most of the existing depth peeling methods perform the z-range culling operation and discard fragments in fragment shader. Then those geometric primitives have already been wholly selected and rendered also need to be transformed and rasterized in the remaining rendering passes, which is meaningless and should be avoided. However, before the geometry shader is available, it is almost impossible to do z-range culling operation in vertex shader as one polygon can fall into several layers and usually each vertex shader can not fetch the information of the corresponding vertex.

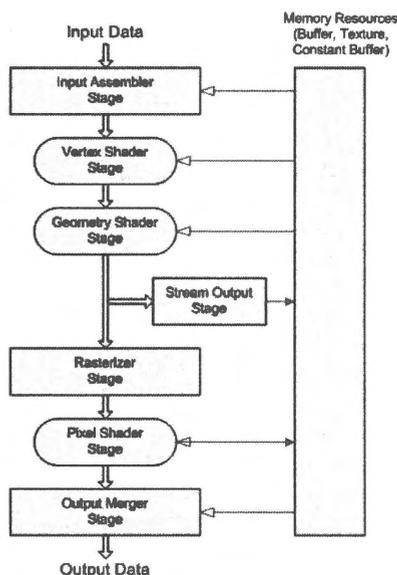


Figure 3: Picture from DirectX 10 documentation that represents the graphic pipeline.

Nvidia opened geometry shader at November, 2006. Geometry shader stage take place between vertex shader and viewport clipping stage, as shown in Figure 3. It operates on the assembled primitives transformed by vertex shader and can emit zero or more primitives, which are rasterized and ultimately passed to pixel shader. Thus we can perform another z-range culling in geometry shader and forbid those polygons whose vertices are all before the corresponding  $z$  in the layers-so-far buffer to be passed to the viewport clipping stage. Those unnecessary rasterization can be avoided in this way. Our effective enhancement does not require any hardware modifications and can be integrated into other acceleration techniques of depth peeling such as [23,15].

## 5. Interactive visualization

As a viewer follows a continuous path through a virtual environment, there is typically considerable coherence between successive frames. Thus we are activated to exploit this coherence to accelerate the interactive rendering of gossamer Noh costume. Our system caches the depth images representing various layers rendered in one frame and uses them to render several subsequent frames. Instead of simply reusing the same images, we warp the cached depth images to current view point.

### 5.1. Depth image warping on GPU

Depth image warping, one of the key techniques of Image-Based rendering (IBR), transforms the pixels of the source image to the target image by using some 3D warping equation. The most widely used 3D warping equation is developed by McMillan and Bishop [18,19], McMillan and Bishop emphasized a non-Euclidean formulation of 3D warping, which is useful for warping images acquired with unknown or poorly-known camera calibration [19] And their equation doesn't compute the target pixel depth explicitly. However, our interactive rendering system can easily fetch the "camera" parameters and needs the warped depth to get the correct transparency of the target frame.

As shown in Figure 5, for a given target viewpoint, the 3D warping can be divided into two steps, first reverse project the source image to 3D object space and then re-project them to the target window space. OpenGL/Direct3D, the premier environments for developing interactive graphics applications, perform the similar procedure when rendering 3D objects. Thus, same as [14], we adopt another 3D warping equation which is accordant with the rendering pipeline of OpenGL/Direct3D. The vertex transformation in rendering pipeline is shown in Figure 5.

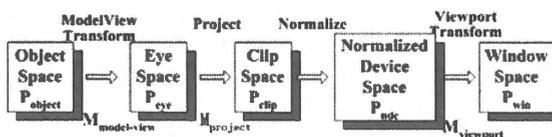


Figure 4: The vertex transformation in rendering pipeline.

Suppose  $\mathbf{P}_{object} = [x_o, y_o, z_o, 1]^T$ , we have

$$\mathbf{P}_{eye} = [x_e, y_e, z_e, 1]^T = \mathbf{M}_{model-view} \times \mathbf{P}_{object} \quad (1)$$

$$\mathbf{P}_{clip} = [x_c, y_c, z_c, w_c]^T = \mathbf{M}_{project} \times \mathbf{P}_{eye} \quad (2)$$

$$\mathbf{P}_{ndc} = [x_{ndc}, y_{ndc}, z_{ndc}, 1]^T = \mathbf{P}_{clip}/w_c \quad (3)$$

$$(-1 \leq x_{ndc}, y_{ndc}, z_{ndc} \leq 1)$$

$$\mathbf{P}_{win} = [x_w, y_w, z_w, 1]^T = \mathbf{M}_{viewport} \times \mathbf{P}_{ndc} \quad (4)$$

Suppose the window width and height are  $W$  and  $H$  pixels respectively,  $0 \leq x_{win} \leq W$ ,  $0 \leq y_{win} \leq H$  and  $0 \leq z_{win} \leq 1$ . Smaller  $z$  means nearer to the viewpoint.

Combine equation 1  $\rightarrow$  4, we can get the transform equation from object space to window space

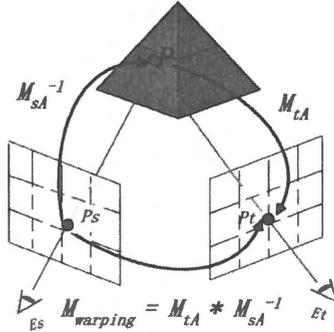
$$\mathbf{P}_{win} = \mathbf{M}_A \times \mathbf{P}_{object} \quad (5)$$

$$\mathbf{M}_A = 1/w_c \times \mathbf{M}_{viewport} \times \mathbf{M}_{projection} \times \mathbf{M}_{model-view} \quad (6)$$

The 3D warping equation can be written as

$$\mathbf{P}_{dwin} = \mathbf{M}_{warping} \mathbf{P}_{swin} \quad (7)$$

$$\mathbf{M}_{warping} = \mathbf{M}_{tA} \mathbf{M}_{sA}^{-1} \quad (8)$$



**Figure 5:** The 3D warping equation accordant with the rendering pipeline.

By using equation 8, each pixel can perform its 3D warping independently and efficiently on GPU although the computation seems complex. And all the necessary parameters can be easily fetched through some 3D API. We use a vertex shader to perform this step as a vertex shader enables user to freely define the transformation matrix of vertices. After all the depth images are warped, a fragment shader resort and then blend the resultant depth images. Through this way the complexity for getting correct transparency rendering changes from  $N^2$  to  $n^2$ , where  $N$  is the number of polygons of the scene geometry and  $n$  is the window resolution.

## 5.2. Error Metric

As described above, our system warps every pixel in a geometrically correct manner as we use images with per-pixel depth (depth images). However, the mapping between source and target depth image pixels is not one to one.

- **Folds :** As shown in Figure 6 (a).  $P_t$  and  $Q_t$  should be blended according to their depth. However, there is writing crash problem when we do 3D warping by vertex shader, the correct blending can not be guaranteed in this case.
- **Holes :** As shown in Figure 6 (b) and (c). Holes can be filled by rasterization. However, it will decrease the image quality.

Thus we need an error metric, which, given source and target view point and source depth images, quantifies the difference between the appearance by warping depth images and rendering the actual geometry. If the difference is smaller than some user-specified threshold  $\epsilon$ , the approximation is deemed acceptable. An important requirement for an acceptable error metric is that it must be suitable for parallel computation as we want to perform all the computation on GPU.

Our error metric is

$$\mathbf{Err} = \sum_{i=1}^{i=D} |N_{ti} - N_{si}| + \max(|\overrightarrow{P_{ti}Q_{ti}}| - |\overrightarrow{P_{si}Q_{si}}|) \quad (9)$$

$$+ \max(|\overrightarrow{P_{ti}E_t}| - |\overrightarrow{P_{si}E_s}|) + \max(|\overrightarrow{P_{ti}P_{si}}|)$$

where  $D$  is the number of layers,  $s$  means the source frame and  $t$  means the target frame.

- $\sum_{i=1}^{i=D} |N_{ti} - N_{si}|$ .  $N_{si}$  and  $N_{ti}$  are the numbers of non-empty pixels in depth image  $i$ , i.e. layer  $i$ , of source and target frame respectively. This item is used to qualify folds.  $N_{si}$  and  $N_{ti}$  are fetched by occlusion query, which is also the necessary step of classical depth peeling.
- $\max(|\overrightarrow{P_{ti}Q_{ti}}| - |\overrightarrow{P_{si}Q_{si}}|)$ .  $P_{si}$  and  $Q_{si}$  are any pair of adjacent non-empty fragments in the same depth image  $i$  of source frame.  $P_{ti}$  and  $Q_{ti}$  are in target frame. This item measures the distance of two adjacent fragments after 3D warping. We use it to quality the holes.  $|\overrightarrow{P_{si}Q_{si}}|$  always equals to 1 (pixel).  $|\overrightarrow{P_{ti}Q_{ti}}|$  needs to be evaluated in geometry shader as it needs the information of at least two pixels. We use a geometry shader in the rendering pass which performs depth image warping to calculate this item.
- $\max(|\overrightarrow{P_{ti}E_t}| - |\overrightarrow{P_{si}E_s}|)$ .  $E_s$  and  $E_t$  are the source and target view points respectively. This item measures change of the distance between the depth image pixel and the viewpoint. We adopt this item

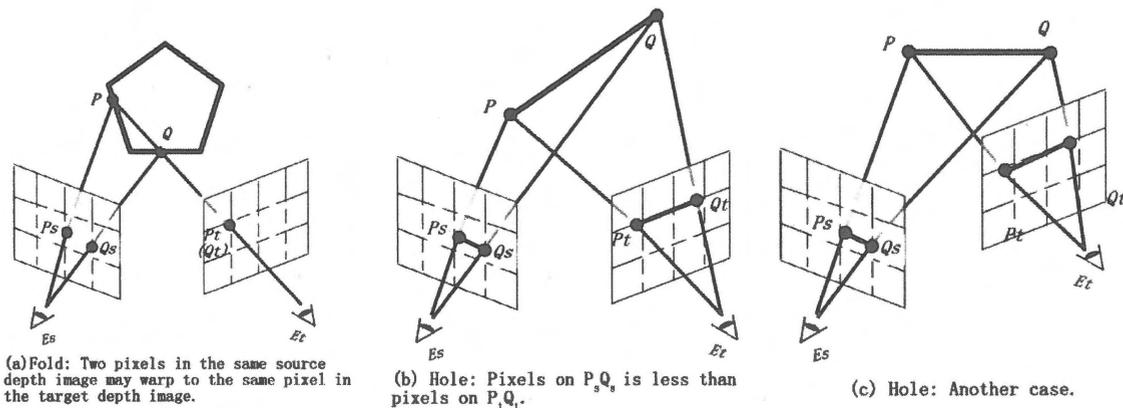


Figure 6: The mapping between source and target depth image pixels is not one to one.

to estimate whether there are some parts not fallen into the view frustum of the source view point visible to the target view point.  $|\overrightarrow{P_{si}E_s}|$  is calculated by a fragment shader during rendering the source frame and stored into a texture.  $|\overrightarrow{P_{ti}E_t}|$  and  $|\overrightarrow{P_{ti}E_t}| - |\overrightarrow{P_{si}E_s}|$  are calculated in the vertex shader performing 3D warping.

- $\max(|\overrightarrow{P_{ti}P_{si}}|)$ .

This item is designed to qualify the error of BTF texture mapping. When the window space coordinates of a vertex doesn't change much in source and current frame, we avoid texture mapping operation for current frame. This item can also be calculated in the vertex shader performing 3D warping.

As it is hard to perform on-the-fly operations such as sum or maximum on GPU, we translate max operation in equation 9 to comparison operation, i.e. comparing the corresponding value to some user-defined threshold for each item, and discard the primitives fail to pass the test. Then the result of equation 9 can be returned to our system through occlusion query.

When the warping result of cached depth images cannot guarantee the rendering quality of current frame, we use the scene geometry and BTF data to render the current frame. Most DIBR system prepares source depth images in pre-computation stage and do not use scene geometry during interactive walkthrough. We choose to re-render the scene using the original geometry when necessary because the pre-computation stage can be omitted and new objects can be added to our scene during interactive walkthrough.

## 6. Experimental Result

We have done some experiments to evaluate our approach. The results were obtained under Windows XP Service Pack 2 on a 2.80GHz Pentium, 2GB RAM machine. Our graphics accelerator is Nvidia GeForce 8600 GT with 256MB on-board memory. The Noh costume model we used is scanned

by VIVID 910 and the Noh costume belongs to the Tsubouchi Memorial THEATRE MUSEUM, Waseda University, Japan. The model includes 76,212 vertices, 150,013 triangles and 4 layers in most cases. Figure 7 shows the visual result of our system, rendered at a  $512 \times 512$  resolution. Comparing with the traditional interactive visualization method, i.e. update each frame with depth peeling and re-generating view-dependent texture mapping our accelerated method can gain an acceleration of 40%. The frame rate can be improved from around 8 FPS to almost 12 FPS. We set the threshold of  $(|\overrightarrow{P_{ti}Q_{ti}}| - |\overrightarrow{P_{si}Q_{si}}|)$ ,  $(|\overrightarrow{P_{ti}E_t}| - |\overrightarrow{P_{si}E_s}|)$ , and  $(|\overrightarrow{P_{ti}P_{si}}|)$  as 4 pixels,  $0.2 \cdot |\overrightarrow{P_{si}E_s}|$ , and  $(0.1 \cdot |\overrightarrow{P_{ti}P_{si}}|)$  respectively. The primitives which can not pass any of the last three items of comparison of Equation 9 is discarded. Then the result of

9 can be evaluated by  $\sum_{i=1}^{i=D} |N_{ti} - N_{si}|$  where  $N_{ti}$  is known by occlusion query. Our system will render the next frame by traditional method if  $\sum_{i=1}^{i=D} |N_{ti} - N_{si}| < 0.1 \sum_{i=1}^{i=D} N_{si}$

## 7. Conclusion

We have presented a system for interactive visualizing the precious ancient Japanese Noh gossamer costume. Our system use the bidirectional texture function (BTF) acquired by OGM and depth peeling technique to achieve the realistic transparency rendering of Japanese Noh gossamer costume. We also adopt two effective acceleration method in our system to guarantee the interactive walkthrough.

- Do the z-range culling operation in both geometry and fragment shader. The un-necessary rasterization of those already wholly peeled polygons can be avoided.
- Making use of the coherence between adjacent frames, cache the result of one frame and reconstruct the next several frames using the cached data. Suppose scene geometry has  $N$  polygons and the output window has  $n$  resolution. Comparing with the traditional rendering method,

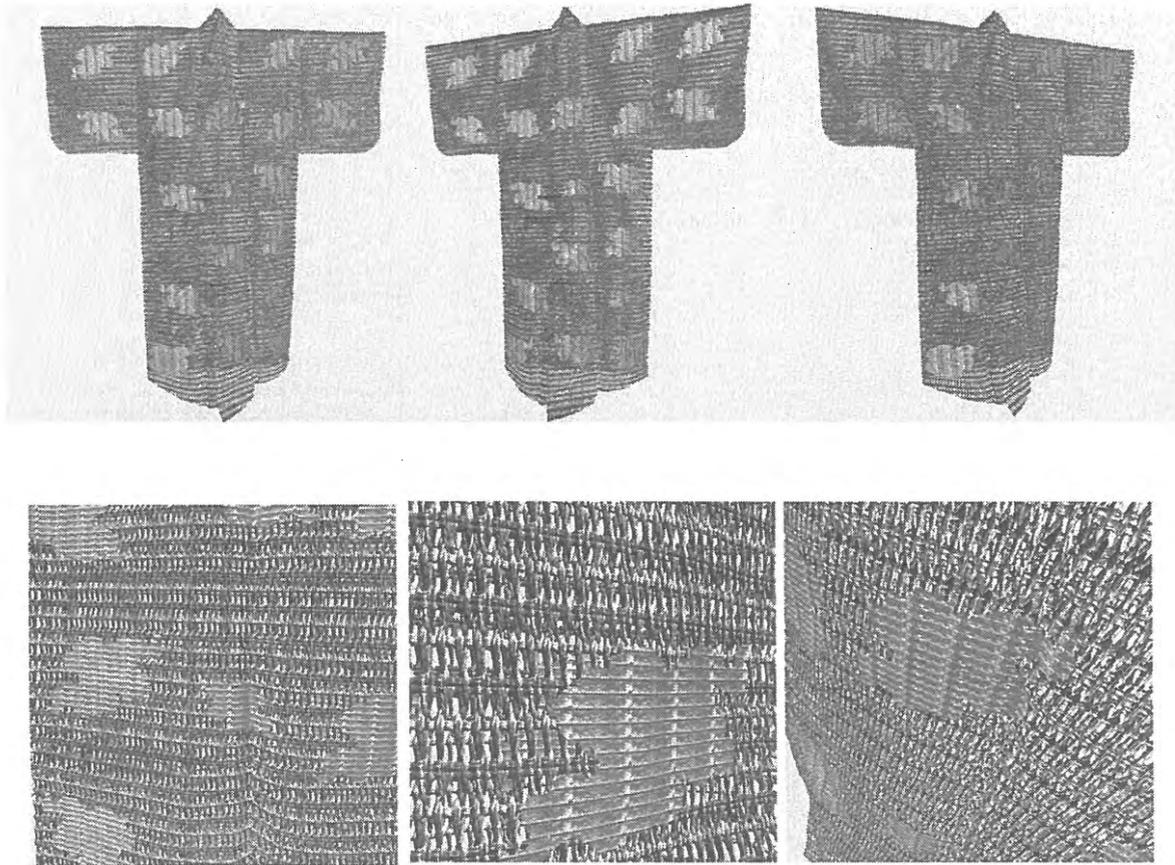


Figure 7: Interactive rendering result of our system.

the time complexity of our interactive rendering scheme changes from  $N^2$  to  $n^2$  and has no relationship with the input complexity. Note that  $N > n$  in most cases.

We only consider the transparency of gossamer textile in this paper. In the future we will concentrate on how to achieve efficient translucency rendering.

#### Acknowledgments

This work was supported partly by the Grants-in-Aid for Scientific "Research Scientific Research(A) 17200013" and "Encouragement of Young Scientists(B) 19700104" of Japan Society for the Promotion of Science. This work was also supported partly by "Kyoto Art Entertainment Innovation Research" of Centre of Excellence Program for the 21st Century of Japan Society for the Promotion of Science and "Research for Promoting Technological Seeds 09-14-001" of Japan Science and Technology Agency.

#### References

- [1] Adabala, N., Magnenat-Thalmann, N. and Fei, G.: Real-time rendering of woven clothes, *VRST '03: Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 41–47 (2003).
- [2] Adabala, N., Magnenat-Thalmann, N. and Fei, G.: Visualization of woven cloth, *EGRW '03: Proceedings of the 14th Eurographics workshop on Rendering*, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, Eurographics Association, pp. 178–185 (2003).
- [3] Aila, T., Miettinen, V. and Nordlund, P.: Delay streams for graphics hardware, *ACM Trans. Graph.*, Vol. 22, No. 3, pp. 792–800 (2003).
- [4] Bavoil, L., Callahan, S. P., Lefohn, A., Jo a. L. D. C. and Silva, C. T.: Multi-fragment effects on the GPU using the k-buffer, *I3D '07: Proceedings of the 2007 symposium on Interactive 3D graphics and games*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 97–104 (2007).

- [5] Bittner, J., Wimmer, M., Piringer, H. and Purgathofer, W.: Coherent Hierarchical Culling: Hardware Occlusion Queries Made Useful, *Computer Graphics Forum*, Vol. 23, No. 3, pp. 615–624 (2004).
- [6] Chen, Y., Lin, S., Zhong, H., Xu, Y.-Q., Guo, B. and Shum, H.-Y.: Realistic Rendering and Animation of Knitwear, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 09, No. 1, pp. 43–55 (2003).
- [7] Craighead, M.: Nv occlusion query, [http://oss.sgi.com/projects/ogl-sample/registry/nv/occlusion\\_query.txt](http://oss.sgi.com/projects/ogl-sample/registry/nv/occlusion_query.txt) (2002).
- [8] Daubert, K., Lensch, H. P. A., Heidrich, W. and Seidel, H.-P.: Efficient Cloth Modeling and Rendering, *Proceedings of the 12th Eurographics Workshop on Rendering Techniques*, London, UK, Springer-Verlag, pp. 63–70 (2001).
- [9] Everitt, C.: Interactive order-independent transparency, *Technical report, NVIDIA Corporation*, <http://www.nvidia.com/> (2001).
- [10] Gröller, E., Rau, R. T. and Straßer, W.: Modeling and Visualization of Knitwear, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 1, No. 4, pp. 302–310 (1995).
- [11] Gröller, M. E.: Coherence in Computer Graphics, PhD Thesis, Institute of Computer Graphics and Algorithms, Vienna University of Technology, Favoritenstrasse 9-11/186, A-1040 Vienna, Austria (1992).
- [12] Hubschman, H. and Zucker, S. W.: Frame-to-frame coherence and the hidden surface computation: Constraints for a convex world, *SIGGRAPH Comput. Graph.*, Vol. 15, No. 3, pp. 45–54 (1981).
- [13] Im, Y.-H. and Han, C.-Y.: A Method to Generate Soft Shadows Using a Layered Depth Image and Warping, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 11, No. 3, pp. 265–272 (2005). Member-Lee-Sup Kim.
- [14] Jiang, Z., Bao, H. and Tsin Wong, T.: Rendering Driven Depth Image Quantization and Compression, *Technical Report TR-2004-01, State Key Lab. of CAD and CG, Zhejiang University, China* (2004).
- [15] Liu, B., Wei, L.-Y. and Xu, Y.-Q.: Multi-Layer Depth Peeling via Fragment Sort, *MSR-TR-2006-81* (2006).
- [16] Mammen, A.: Transparency and Antialiasing Algorithms Implemented with the Virtual Pixel Maps Technique, *IEEE Comput. Graph. Appl.*, Vol. 9, No. 4, pp. 43–55 (1989).
- [17] Mark, W.: Post-Rendering 3D Image Warping: Visibility, Reconstruction, and Performance for Depth-Image Warping, *Technical report, Chapel Hill, NC, USA* (1999).
- [18] McMillan, L. and Bishop, G.: Head-tracked stereoscopic display using image warping, *Proc. SPIE 2409A* (1995).
- [19] McMillan, L.: An Image-Based Approach to Three-Dimensional Computer Graphics, *Technical report, Chapel Hill, NC, USA* (1997).
- [20] Sattler, M., Sarlette, R. and Klein, R.: Efficient and realistic visualization of cloth, *EGRW '03: Proceedings of the 14th Eurographics workshop on Rendering*, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, Eurographics Association, pp. 167–177 (2003).
- [21] Shade, J., Gortler, S., Wei He, L. and Szeliski, R.: Layered depth images, *SIGGRAPH '98: Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 231–242 (1998).
- [22] Shade, J., Lischinski, D., Salesin, D. H., DeRose, T. and Snyder, J.: Hierarchical image caching for accelerated walkthroughs of complex environments, *SIGGRAPH '96: Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 75–82 (1996).
- [23] Wexler, D., Gritz, L., Enderton, E. and Rice, J.: GPU-accelerated high-quality hidden surface removal, *HWWS '05: Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS conference on Graphics hardware*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 7–14 (2005).
- [24] Wittenbrink, C. M.: R-buffer: a pointerless A-buffer hardware architecture, *HWWS '01: Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS workshop on Graphics hardware*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 73–80 (2001).

# 仏像写真の数理的色彩復元法の試論

## A Treatise on Mathematical Color Inpainting of Japanese Old Statues

坂田 年男<sup>1</sup>、竹之内 和樹<sup>1</sup>、能野 謙介<sup>1</sup>、前原 一満<sup>2</sup>

Toshio Sakata, Kazuki Takenouchi, Kensuke Nouno, Kazumitsu Maehara

堀内 隆彦<sup>3</sup>

Takahiko Horiuchi

九州大学大学院芸術工学研究院<sup>1</sup>、芸術工学府 修士課程<sup>2</sup>、福岡市南区塩原 4-9-1

Kyushu University, 4-9-1 Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka

千葉大学大学院融合科学研究科<sup>3</sup>、千葉市稲毛区弥生町 1-33

Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba

あらまし：経年変化により退色した仏像本体の写真がデータベースに多く散見されるが(当然写真上も色彩が欠落している)、これに対して、現代の数理的画像技術で色彩を回復する手法について、試論を行なう。本当の意味でのこうした歴史的に貴重な仏像の色彩の修復にはきわめて膨大な準備と調査が必要なことは明らかであるが、本論文は、本体に対する詳細な職人芸的な知識を使用せずに、写真と数理的な画像技術だけを使用してどれだけ写真上の色彩の復元が可能であるかについて考察する。

**Summary:** There are many photos of statues having lost its coloring in any Japanese old statues database. This is a treatise on color inpainting of these photos of old statues. In reality, for color inpainting of old valuable statues, it is needless to say that we must pay tremendous efforts and detailed pre-research of statues themselves. On the contrary, in this treatise, we argue how can we contribute to the color inpainting of the photos, not of the statues themselves, by using mathematical image analysis techniques assuming with no professional profound knowledge of statue inpaintings.

**キーワード:** カラー修復, 仏像写真, ポアソン方程式, カラー転送, 疎表現

**Keywords:** Color inpainting, Photos of old statues, Poisson equation, Color transfer method, Sparse coding theory

### 1. 導入

著者の一人は国宝「鑑真和尚展」を拝覧する機会があり(鑑真和尚展[12])、そのとき、仏像の偉容に心を打たれるとともに、ところどころに散見される経年変化による「傷み」に、心を動かされた。何とか修復できないものであろうかと。もちろん、仏像本体の修復には筆舌につくし難い苦労が伴うことはよく知られている。仏像本体の修復は我々素人のなせる業ではないが、せめて写真のお顔の色だけでも、修復してみたいとの念が募り、この試論へと発展した次第である。我々の有している技術は数理的画像処理技術(それとて、これらの理論がカバーする領域の一部に過ぎない)のみ

である。これを使用してどこまで思いが遂げられるか、この原稿を書いている時点において、筆者らにも可能性が定かに見えないのであるが、我々の用いる手法についての解説とその現時点での適用結果を本試論にまとめることにより、今後の研究のための足がかりの第一歩としたい。

さて、我々は最終目標を唐招提寺の四天王の色彩の復元と定めた。唐招提寺展で筆者の一人が最も感銘を受けたのが鑑真和尚坐像とこの四天王像(図 1 (a) ~ (d))であったからである。

もちろん、これは、素人には大胆すぎる目標であるといえよう。東大寺修復工房、奈良国立博物館修復課、

および美術院国宝修理所の御意見を拝聴したところ、像の元の色彩はほとんど残存していないそうである。それゆえ、この四天王の色彩を復元した試みはないそうである。当時の仏像製作の様式や、仏像の持つ色彩の意味などをたよりに、EXAMPLE からの外挿およびわずかに残る残存色彩からの外挿を手だてに、(おもに前者)色彩を修復することになる。この四天王と同じ天平時代の作に、彩色を残している像として、東大寺法華堂 四天王・金剛力士(阿吽)・執金剛神東大寺戒壇堂 四天王などがあるそうである。なお、唐招提寺の四天王については奈良六大寺大観 13 卷「唐招提寺 2」(岩波 2001)に製作手法の詳細な記述がある。また、他の四天王の修復例として、新薬師寺執金剛 12 神の 3D 技術を駆使した復元も参考になるだろう (<http://www.k5.dion.ne.jp/~shinyaku/juni.html>)。また、日本各地の四天王像も参考になるだろう。

ここで、我々の用いる画像色彩復元のための数理的な手法について簡単に説明しよう。詳細は各手法のために節を設けて詳しく説明し、適用例を紹介する。まず、2 節で説明するポアソン方程式を解く手法によるカラー復元法は、Sapiro[8]の論文に現れた手法で、現代の最適化による画像復元手法(Chan-Chen[2]、Sapiro[9]、Tschumperle-Deriche[10]等)の一つと位置

付けられる。RGB 空間ではなく(Y, Cb, Cr)空間で画像を考えYを基本として、最適化を試みる手法である。3 節の1項で取り扱うColor Transfer法には、最適化を行う LEVIN 法、適当なカラーを種として与えてそれを伝搬させる種画素伝搬法、および EXAMPLE に基づく方法などが主な方法である。ただし、本試論では必ずしも色彩伝搬法はうまく機能しなかったために、より詳細に色彩情報を考察して復元を試みた結果を 3.2 項で掲載している。

最後に、4 節で扱うスパース表現論に基づく手法は Mairal-Elad-Sapiro[7]に現れた手法である。スパース

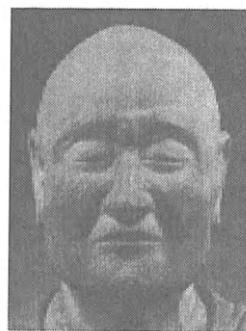


図2 鑑真和尚坐像の顔部分



(a) 広目天



(b) 增長天



(c) 持国天



(d) 多聞天

図1 四天王像

表現とはまず画像を微細領域に分割し、それを複数の数値ベクトルとしておいて、過剰基底を辞書として用意し、その中の少ない元を用いて各ベクトルを誤差を小さくして表現するものである。アルゴリズム的には直交マッチング追跡というアルゴリズムに立脚する KSVD 法 (Aharon-Elad-Bruckstein[1]) を用いて実現できる。EXAMPLE による画像修復の一種ともみなせる手法である。この手法にはどのような辞書を用意するかが問題となる。以下の各節で、本稿で考える数理的手法のそれぞれについて、比較的うまくいく事例 (鑑真和尚顔画像 (図 2) と四天王の中の「増長天」(図 1 (b)) の色彩復元に適用した結果を述べて、上手くいく場合と行かない場合の差はどこから来るかを考察し、問題点をさぐることにする。

## 2. ポアソン方程式法による色彩復元

NTSC 信号や jpeg ファイルの内部表現に用いられる輝度  $Y$  と色差  $Cr$ ,  $Cb$  による色空間表現において、輝度情報を手がかりに色差  $Cr$  と  $Cb$  を推定して色彩復元を行なう方法で、Sapiro は画像の輝度分布の輪郭と色

差の分布のそれとが関係することから、勾配を媒介として両者を関連づけて、次式で最適化をはかることを提案している (Sapiro[8])。

$$\min_{Cb} \int_{\Omega} \rho (\|\nabla Y - \nabla Cb\|) d\Omega \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 、 $\Gamma$  は画像領域全体である。

式 (1) の評価において  $\Gamma$  には様々なノルムを選択可能であり、 $L_2$  ノルムを用いれば、式 (1) は次式の Poisson 方程式に帰着される (Sapiro[8])。元画像の輝度情報、すなわち、元画像をモノクロとしたときの明暗の変化を右辺項とする Poisson 方程式を解いて、色差を復元する。

$$\Delta Cr = \Delta Y \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $\Delta = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$  であり、もうひとつの色差  $Cb$  についても同様に扱う。

式 (2) を境界値問題として解くには妥当な適切な条件が必要で、これはモノクロ画像内およびその周辺に選定した位置に修復目標となる色を置いて与える。

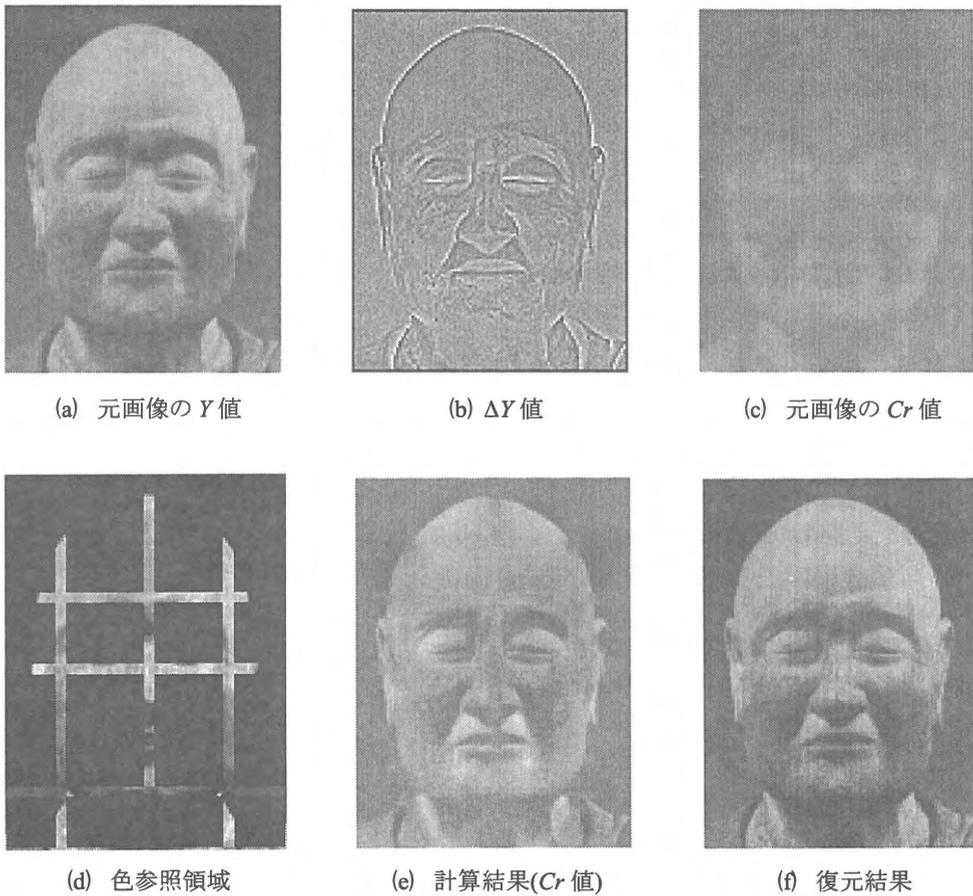


図 3 ポアソン方程式法による色彩復元

図 3 (a) ~ (f) に、この方法による鑑真像画像 (図 2) の特性、過程と色復元の結果を示す。なお、式 (2) の 2 階微分は式 (3) のように等格子間隔  $h$  の中心差分で近似し、彩色復元領域において式 (4) を反復法で解いて、収束値として彩色復元画像の  $Cr$  を得た。 $Cb$  についても同様である。

$$\Delta Y = \frac{Y_{i+1,j} + Y_{i-1,j} + Y_{j+1} + Y_{j-1} - 4Y_{ij}}{h^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$Cr_{ij} = \left( \frac{Cr_{i+1,j} + Cr_{i-1,j} + Cr_{j+1} + Cr_{j-1}}{h^2} - \Delta Y_{ij} \right) \frac{h^2}{4} \dots (4)$$

ただし、添字  $i, j$  はピクセルの数で表した画像内の点の位置で、画像左上隅を  $(i, j) = (1, 1)$  として、それぞれ下向き、右向きに増加する。この  $(i, j)$  をそのままピクセルの座表として用いているので、式 (3) において  $h = 1$  となる。

図 3 (a) は元画像 (図 2) の  $Y$  値であり、カラー写真をモノクロ化した画像に相当する。これに式 (3) の演算を施せば、図 (b) の  $\Delta Y$  が得られる。輝度の変化に対応して画像内容の輪郭など、特に輝度の変化率が大きい部分を捉えている様子がわかる。また、輪郭付近を詳細に見れば、元画像が横×縦=106 ピクセル×141 ピクセルと粗いことも関係していると思われるが、 $\Delta Y$  の絶対値大きいことを示す白いピクセル (正值) と黒いピクセル (負値) が隣接しており、エッジを強調する補正が施されている可能性が見て取れる。これに対して図 (c) の  $Cr$  値の分布は、いくらか元画像の内容は推定できるものの、輪郭の表出が弱く、一様に近い。ここでは割愛しているが  $Cb$  も類似の様相を示している。これらのことは、鑑真和尚像は顔料の退色により彩度が低く、場所によっては下地の黒漆が露出しているなどモノクロ画像に近い状態であることに対応する。

このような特性を有する画像の彩色復元において、復元目標色を与えた位置を図 (d) に示す。修復目標色は、肌色を基本とし、元画像の現在の色を強調して、幾分明るく鮮やかな色を選定した。なお、この目標値を導入する位置や大きさは、彩色復元の結果に主要な影響を与えると考えられるので、複数の候補における計算結果を比較するなどにより好適導入指針を検討すべきであるが、今回は、数理的手法による彩色復元の可能性に関する研究の第 1 段階として、図に示す格子状とした。

復元結果に関する画像を図 3 (e)、(f) に示す。

図 (e) の  $Cr$  の推定結果を図 (c) と比較すれば、参照領域の  $Cr$  情報と図 (b) の  $\Delta Y$  値を式 (4) に代入した計算により、色情報が図 (c) よりも強く得られたことが知られる。頭部輪郭の復元色参照領域の近傍においては、

色参照情報と復元結果との間の滑らかさが十分でない領域も認められ、前述のように適切な境界条件導入位置や境界値選定指針の検討が必要と考えられる。

図 (f) の最終結果は、図 (a) の  $Y$  値に計算によって推定された  $Cr$  (図 (e)) と  $Cb$  を重ねて得られる。図をみれば、画像領域全体が彩色され、顔の大部において復元目標に設定した肌色が拡散していることが確認される。ただし、 $\Delta Y$  の絶対値が大きい (図 (b) の白および黒) 領域の付近では、緑、マゼンタといった想定外の色が見られる。 $Y$  値は、元画像のまま変化しないため、この結果は  $Cr, Cb$  の推定結果から生じている。そこで、図 3 (e) の  $Cr$  をみれば、 $\Delta Y$  と類似の画像が得られている。 $YCrCb$  と  $RGB$  との対応を与える式

$$\begin{cases} R = Y + 1.402 Cr \\ G = Y - 0.714 Cr - 0.344 Cb \dots\dots\dots (5) \\ B = Y \quad \quad \quad + 1.772 Cb \end{cases}$$

において、 $Cr$  と  $Cb$  の分布が類似する場合には  $R, B$  は互いに同じ位相で変化し、一方  $G$  は前者らとは逆位相になり、修復された画像には場所により  $R+B$  か  $G$  のいずれかが強く出る結果になることがわかる。

ここで、対象としている画像が顔部分と背景とから成り、色の種類に乏しいため、その明暗のみが変化する性質が強くて、 $Y$  の分布がほぼそのまま  $Cr, Cb$  に転写されて 3 者の分布が類似して上の図 (f) の結果になったとすれば、本方法においては参照色の適切な調整と分布が好ましい色復元に重要であると考えられる。

また、復元目標色が元画像に矛盾しないためには、目標色の  $Y$  値は元画像のそれと同じであることも要求される筈であり、復元目標色を暫定的に設定した後、元画像の輝度との整合性を与えるための補正が必要になる場合が生じると考えられる。これらについては、今後の課題としたい。

### 3. 色彩情報に基づく色彩復元

#### 3.1. 色彩伝搬法

ここでは、堀内[7]の提案しているカラーブレンド法を増長天へ適用した結果を紹介する。冠に残存しているわずかの金色および胸部の類似色および背景色など 20 点を SEED として適用したものが図 4、顔の赤褐色を基調に背景を含めて SEED を 20 点採用した結果が図 5 である。どちらの場合も全く修復は不完全である。Seed 法の単純な適用はうまくいかないことが分る。明度を手掛かりとする Seeds 法はこのように明度そのものが不完全であり、カビなどのノイズが入っており、色彩も欠落があるような複雑な場合には、良い結果を生まないことがわかる。もっと適用に工夫が必要である。



図4 黄色の Seeds



図5 赤褐色の Seeds

次節では、色彩情報をもう少し詳しく利用する方法を考えてみる。またもう少し退色の様子が単純である鑑真和尚の顔画像に適用する。

### 3.2. 色彩情報の詳細な吟味による色彩復元

パソコンで表示される写真等は1画素を赤(R)、緑(G)、青(B)の3色で表現し、その明るさを、

$$0 \leq R \leq 255$$

$$0 \leq G \leq 255$$

$$0 \leq B \leq 255$$

それぞれ256段階に変化させることにより約1670万(=2<sup>24</sup>)色を表現可能である。この色のRGB表現は人間にとって直感的でなく、RGBの値は分かってもどのような色かは分からない。そこで、直感的に分かりやすい、色合い(色相H)、色の鮮やかさ(彩度S)、色の明るさ(明度V)で表現するHSV表色系を使用して色彩の復元を検討する。

HSV色空間は図6に示すように、円周方向に色相

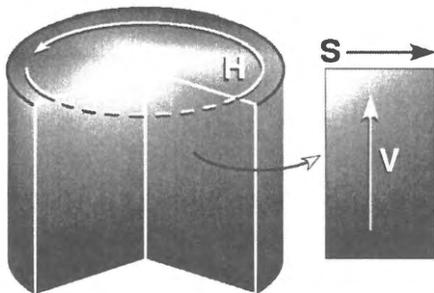


図6 HSV表色系[14]

Hを角度で表現し、

$$0^\circ \leq H < 360^\circ$$

の値を取る。H=0°が赤(R)で、H=60°は黄色(Y)、H=120°は緑(G)、H=180°はシアン(C)、H=240°は青(B)、H=300°はマゼンタ(M)を表す。

半径方向は彩度Sを表現し、

$$0 \leq S \leq 1$$

の値の範囲を取る。S=1はその色相の色で最も鮮やかな色を表現する。S=0は最も彩度は低く、灰色(黒、白)になる。0と1の間は最も彩度の高い色を白色で薄めていった色になる。

上下方向は色の明るさ(明度)Vを表現し、

$$0 \leq V \leq 1$$

の値の範囲を取る。V=1は白色を、V=0は黒色を、その中間は灰色を表す。

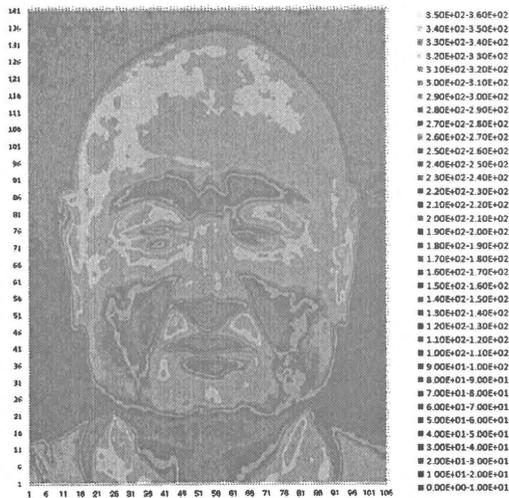
前章と同じく、図2の鑑真和尚の画像を対象として、彩色復元を試みる。

鑑真和尚の像は長年の埃や汚れのために、額から頭頂部にかけては白っぽくなっており(明度は高いが、彩度は低い)、また、頬から眉毛辺りにかけては黒ずんでいる(明度も彩度も低い)。この画像をもとにして、HSV表色系へ変換して、等高線で表現したものを図7の(a)~(c)に示す。

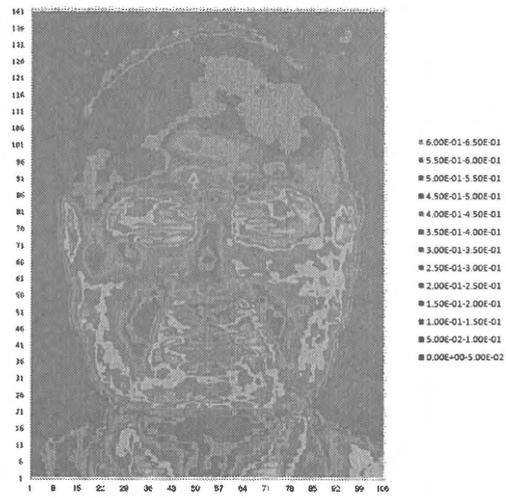
図7(a)より分かるように、額から頭頂部にかけて白っぽくなった部分も、頬から眉毛にかけての黒っぽくなった部分も、無彩色にならずに色相情報が保存されており、顔のほかの部分の色相の値とあまり変わらず、マゼンタ~赤~黄色の色相である。式で表現すると、

$$0^\circ \leq H \leq 60^\circ \quad 300^\circ \leq H < 360^\circ \dots\dots\dots (6)$$

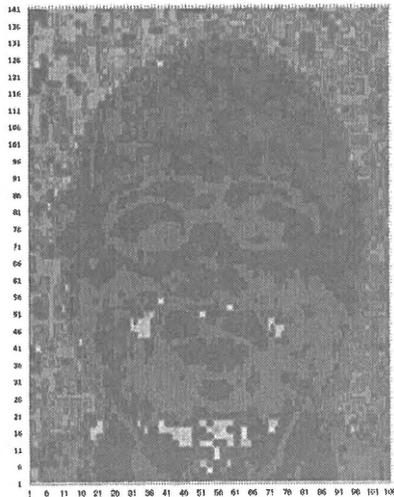
の範囲にある。図7(b)から、額から頭頂部にかけてお



(a) 色相の等高線図



(b) 彩度の等高線図



(c) 明度の等高線図

図7 鑑真和尚像の画像のHSV表示

よび頬から眉毛にかけての部分は彩度が低下していて、白っぽくまたは黒っぽく見えていることが分かる。

図8に色相角のヒストグラムを示す。図から分かるように、色相角  $30^\circ$  (橙色) を中心に  $\pm 30^\circ$  の範囲に集中的に分布している。この結果から制作当時、色相角  $30^\circ$  前後で彩色されていたと考えられる。このことから、制作当時の状況を以下のように仮定して色彩の修復を試みる。

#### 仮定

1. 顔はほぼ全面に色相角  $30^\circ$  (橙色) に彩色されていた

2. 汚れのために色域が広がった
3. 汚れのために彩度が低下した

#### 修復方法

1. 式(6)の色相を  $15^\circ \leq H \leq 45^\circ$  へ圧縮する
2. 色相を圧縮した部分の彩度を高める

実際には、

$$0^\circ \leq H \leq 60^\circ \text{ の場合: } H \leftarrow 0.5H + 15$$

$$300^\circ \leq H < 360^\circ \text{ の場合: } H \leftarrow 0.5H - 135$$

の式で変換し、 $15^\circ \sim 45^\circ$  の範囲へ圧縮する。また、圧縮した部分では、

$$S \leq 0.8 \text{ の場合: } S \leftarrow 0.5S + 0.4$$

とし、彩度  $S$  が0から0.8の変化を0.4から0.8の間での変化になるようにし、彩度を高める。以上の処理を図2の鑑真和尚の画像に行った結果を図9に示す。

図から分かるように、額から頭頂部にかけての白っぽくなっていた部分はほぼ取り除くことが出来た。また、頬から眉毛あたりにかけた黒ずみのある程度減少した。しかし、頭頂部に灰色の部分が残っており、この部分の改善が必要である。頭頂部の灰色の部分は  $S=0$  の無彩色の部分と式(6)の範囲外で色相  $H$  がランダムに変化する2つの部分から構成されている(図7(a))。この部分は上下方向に非常に薄い層であり、この灰色の部分が  $j$  行  $k$  列であれば、下の行の近くの3つの値を平均化した値を用いることとする。式で表現すると、

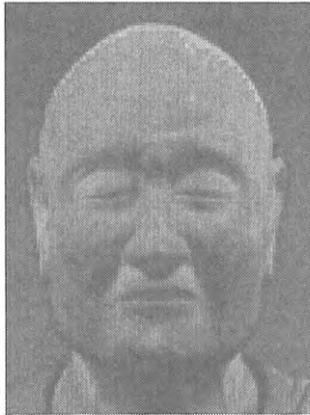


図9 色相の圧縮と彩度を高める処理を施した画像

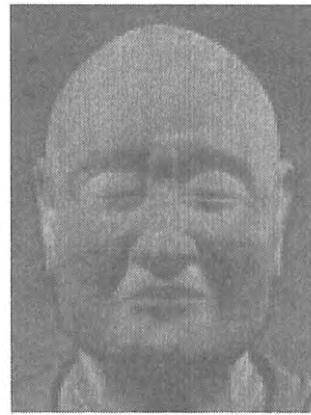


図10 最終画像

とし、彩度  $S$  が 0 から 0.8 の変化を 0.4 から 0.8 の間での変化になるようにし、彩度を高める。以上の処理を図 2 の鑑真和尚の画像に行った結果を図 9 に示す。

図から分かるように、額から頭頂部にかけての白っぽくなっていた部分はほぼ取り除くことが出来た。また、頬から眉毛あたりにかけた黒ずみのある程度減少した。しかし、頭頂部に灰色の部分が残っており、この部分の改善が必要である。頭頂部の灰色の部分は  $S=0$  の無彩色の部分と式 (6) の範囲外で色相  $H$  がランダムに変化する 2 つの部分から構成されている(図 7 (a))。この部分は上下方向に非常に薄い層であり、この灰色の部分が  $j$  行  $k$  列であれば、下の行の近くの 3 つの値を平均化した値を用いることとする。式で表現すると、

$$S_k^j = \frac{S_{k-1}^{j-1} + S_k^{j-1} + S_{k+1}^{j-1}}{3}$$

$$H_k^j = \frac{H_{k-1}^{j-1} + H_k^{j-1} + H_{k+1}^{j-1}}{3} \dots\dots\dots (7)$$

で求める。この処理を図 9 に適用した結果を図 10 に示す。額から頭頂部にかけての白っぽくなった部分および頬から眉毛にかけての黒っぽい部分を改善することが出来た。しかし、頬や顎の下に黒い点が見え、また、周りと色相の異なる点が見え、改善する必要がある。

#### 4. 疎表現による色彩復元

信号の疎表現による圧縮、復現理論が最近活発に研究されている。画像の世界では画面を小さなパッチに分割し、パッチのための過剰辞書(たくさんの例画像)を用意しておいてその中の少ない画像の最適な線形和(疎表現)で元パッチ画像を表現しこれを全体画像の構成要素とする。これを実現するアルゴリズムが KSVD 法で、Ahron 等[1]で提案された。グレースケール画像に対してノイズ除去の成功事例が報告されている。Mairal[7]等の最新論文ではこの疎表現理論をカラー復元に適用するアルゴリズムを提案し、成功事例が報告されている。本論文では仏像の色復元にこの理論の適用を試みる。疎表現法は可能性のある手



図11 ノイズ画像



図12 ノイズ除去画像

Poisson 方程式法では、空間形状を考慮した、いわば多様体上の方程式を解くように改良する必要がある。

RGB を与えると、YCrCb が一意に決定される。輝度値に整合する seed を与えた場合と不整合の場合とで結果はどのように変化するかを考えてみるのも面白い。疎表現法では四天王の復元に的を絞った場合にどのような辞書を構築すべきかが今後の検討課題である。

## 6. 謝辞

貴重なコメントをいただいた早稲田大学理工学部の村田昇先生にこの場を借りてお礼申し上げます。また、唐招提寺の四天王の色彩について詳しくご教示賜りました東大寺工房の林様に感謝いたします。

## 7. 参考文献

- [1] Aharon M., Elad M. and Bruckstein A.M. (2007): The K-SVD: An Algorithm for Designing of Overcomplete Dictionaries for Sparse Representations, IEEE Transactions on Signal Processing, (to be appeared).
- [2] Chan T.F. and Shen J.K. (2005): Image Processing and Analysis, SIAM.
- [3] Chung D.H. and Sapiro G.: On the Level-Lines and Geometry of Vector-Valued Images, IEEE Signal Processing Letters 7, pp.241-243, Sept., 2000.
- [4] Elad M. and Aharon M. (2006): Image Denoising Via Sparse and Redundant Representations over Learned Dictionaries, IEEE Transactions on Image processing, 15, 12, pp.3736-3745.
- [5] Horiuchi T. and Hirano S.: Colorizing Algorithm for Grey Scale Image by Propagating a Seed Pixels IEEE Proc. of International Conf. of Pattern.
- [6] Horiuchi T. (2007): Colorization of Monochrome Pictures. (2007), 特集「デジタルアーカイブにおける色彩」, 日本色彩学会誌 31 巻, 4 号
- [7] Mairal J., Elad M. and Sapiro G. (2007): Sparse Representation for Color Image Restoration. IMA preprint series, No.2139. <http://www.ima.umn.edu/preprints/oct2006/2139.pdf>
- [8] Sapiro G.: Geometric Partial Differential Equations and Image Analysis, (2001), Cambridge University Press.
- [9] Sapiro G. (2005): Inpainting the Colors. Image Processing ICIP, IEEE. International Conference, Vol.2, II-698-701.
- [10] Tschumperle D. and Deriche R. (2005): Vector-Valued Image Regularization with PDE's. IEEE. Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27, 4.
- [11] Yatzir L. and Sapiro G. (2006): Fast Image and Video Colorization Using Chrominance Blending. IEEE. Trans. On Image Processing, 15, No.5, pp.1120-1129.
- [12] 国宝「鑑真和上展」(2007), 福岡市博物館・RKB 毎日放送・西日本新聞社.
- [13] 奈良六大寺大観 13 巻, 唐招提寺, 岩波書店 (2001).
- [14] [http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%94%BB%E5%83%8F:HSV\\_cylinder.jpg](http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%94%BB%E5%83%8F:HSV_cylinder.jpg)

# 文化財ローカル・ナレッジの集積と Web-GIS を基盤とした文化現象解析

## Local Knowledge Database and analytics of Cultural Properties with Web-GIS technology

津村 宏臣

Hiro'omi TSUMURA

同志社大学 文化情報学部, 京田辺市多々羅都谷 1-3

Doshisha University, 1-3 Miyakodani Tatara, Kyotanabe, Kyoto

あらまし:いわゆる“文化”、あるいはその“現象”は、物質的実体を持たない。したがって、その存在は可変的で非等質であり、個別的な主観的実在である。にもかかわらず、我々は、程度の差はあるものの、『〜文化』と言われる実在の、何らかの実体的なイメージを共有している。それが現象として事実か否かを問わず、「緩やかな同時代的・地域的な共同幻想＝ローカル・ナレッジ」を持っていると考えられる。これとは逆に、人間のあらゆる活動の客体的所産である文化財(遺産)は、物質/物理的実体を持ち、その存在は不変的で等質で、普遍的な客観的実在である。この文化財から適切に“文化”が復原されれば、実体のない“文化”の実態を科学的に把握することができる。本研究では、文化財の情報から文化を可視化する理念としてオントロジーの哲学を、具体的な技術基盤として GIS を用い、実体のない文化＝ローカル・ナレッジの実態を抽出・把握する方法を検討した。まず、文化財情報標準(CPIS)・応用スキーマを ISO191 に準拠して設計・実装し、これと従来の文化財情報媒体(報告書など)との整合性を検討、基本となるデータベースを構築した。次に、Web マッピングによってデータ入力可能なアプリケーションの開発、従来の文化財情報の精査と再情報化(計測など)を行い、同時に、多様な文化財情報の取得とリテラシ・マネジメントに関する検討を実施した。現在、これらを用いた文化の“可視化”に関する解析モジュールの開発を進めている。

**Summary:** Culture or cultural phenomena does not have any physical substance, therefore, these must be variable, unequal and subjective ones. However, it is a fact that we are sharing the concrete images about “Some Culture”, too. In this study, the concrete images based on our local cultural knowledge, which have been shared by us, are examined with data science of cultural properties. First, the cultural properties information standards (CPIS-Metadata) were designed based on ISO191 series, since their absences, in the future, will cause many somber problems. And some applications and input templates which are based on this CPIS were also compiled for general web users. Next, some special interest groups (SIG) were organized around this CPIS-SIG, and lots of kinds of data which had been stored into server were analyzed by such SIG. And now, we completed the bibliography and the archaeological site data base on web-GIS. In final step, in the near future, some concrete cultural phenomena will be constructed on the Spatio-temporal cyber phase by data scientific analytics that we are now developing.

**キーワード:**ローカル・ナレッジ, 文化財, Web-GIS, オントロジー, 文化財情報標準

**Keywords:** local knowledge, cultural properties, Web-GIS, ontology, cultural properties information standards

## 1. 地域知と文化と文化財

### —プロジェクトを開始した考え方—

世界遺産に登録されている日本の文化遺産について、最も的確に答えられるのはおそらく日本の考古学・文化財研究者であろう。それと同様に、その他の国や地域の文化遺産については、その国や地域の文化遺産研究者が最もよく把握している。これは世界遺産レベルの話だけでなく、例えば、地域毎の「お地蔵さん」や「経塚」や「石柱」がどこにあってどんな意味を持つのか、そのような地域的な文化財情報は、もはや所管行政機関の文化事業担当者では対応しきれず、『地域史家』と呼ばれる人々に助けをを求める現状である。

人類のあらゆる活動を文化的活動であると考え、その痕跡である文化財も、あらゆる時代、あらゆる場所に存在し、地域ごとにその意味や解釈、存在の論理が機能している。我々が一般的に「文化」と呼んでいる実体のないコト（事象）の実態は、実際はそうした実体のあるモノである「文化財」の情報を、“知”の記号として構造化し、把握しているのが実態であり、これが、地域と時代で可変的で主観的なローカル・ナリッジ＝文化の知の正体であると考えられる。

これまでの人文（科）学では、そうした情報を研究者のビジョンによって整理（個別的標準化）し、目的の情報をトップダウンで蒐集してきた。だが、これは一研究者が把握しようとしている「文化」のための情報であり、ある種の方法論的なトートロジーを抱え込んでいた。『〜文化』の研究をするために、『〜文化にまつわる文化財』の情報を集め、結果として『〜文化』を高邁に語る。この方法では、地域の人々が緩やかに共有している文化の記号を読み取ることが難しく、ローカル・ナリッジとしての文化の実態を分析することが難しい。

例えば、先述の「お地蔵さん」も、時代と地域で様々に異なる記号となる情報を複合的にもつ文化財である。①ある地域では村境や町境を守る“結界の守護神”であり、②別の地域では厄除けの“とげぬき地蔵”になる。また、③時代が異なると農夫（あこ）の歯を治し（なし）た縁起から身代わりの“あごなし地蔵尊”であり、④別の時代には神仏習合の思想的影響を受けて“愛宕権現（火防神）や閻魔の本地仏”にもなる。だが、昭和の地方都市で育った私の「お地蔵さん」は、昔話の“笠地蔵”であり、①～④などの情報をローカル・ナリッジの記号として持っていない。「お地蔵さん」というモノの持つ多くの文化財属性情報の内、私

個人の文化というコト、あるいは私と同じような時間と空間に生きた人にとっての「お地蔵さん」文化は、“笠地蔵”や“六地蔵”文化であり、その他の「お地蔵さん」文化は異文化である。また、“笠地蔵”文化は、厳密には「地蔵尊」という文化財の実在から発せられる記号だけでなく、「笠地蔵」という昔話/民話文化の記号の影響を強く受けている。地蔵尊という有形文化財と、笠地蔵という無形民俗文化財が複雑に接続した知を形成すると、“ある種の人々にとっての「お地蔵さん」文化”というコトが実態として可視化される。

こうした概念と概念の結びつきや、その実在の機能や意味とともに議論する方法・哲学をオントロジー（Ontology）という。近年、このオントロジーの考え方が情報処理・工学系研究で注目されており、諸概念を体系的に分類する情報処理手法として応用が始まっている。階層ツリー構造を基本とし、概念と概念を繋ぐ関係性の明示が特徴で、OWL等のオントロジー言語の開発も進んでいる。

だがヒトの行動や認識の上での文化のオントロジーは、レヴィ=ストロースが「トーテム操作媒体（Totemic Operator）と呼んだ、まさにローカル・ナリッジに他ならない。ローカル・ナリッジの検討には、文化財の実在が持つ情報と、“そこに住む”ヒトが読み取る記号を結びつける時間と空間が不可欠で、単にオントロジー言語でデータを構造化しただけでは、文化の可視化には結びつかない。その意味で、文化財情報をGISに格納する基盤化と、解析による高度情報化が必要であり、そのサイバーな時空でオントロジカルな情報解析が求められることになる。解析により可視化された文化は、客観的な文化研究のスタート地点となる。時間と空間が鍵となる“緩やかな共同幻想”としてのローカル・ナリッジの析出が、本研究の目的である。

## 2. 文化財情報標準の設計

笠地蔵と地蔵尊の情報を、時空間連続対の断面で1つの文化現象として可視化するためには、有形文化財と無形文化財だけでなく、あらゆる文化財情報が扱える標準を検討する必要がある。本研究では3つの対応を検討した（Fig 1）。

### ①地理情報標準へのオリジナル応用スキーマでの対応

GISに文化財情報を格納する以上、その情報も地理情報標準に準拠した応用スキーマを設計し、実装することが理想であろう。だが、高度情報化に対応した地理情報標準に正規準拠する応用スキーマの構築には、研究分野間での用語の整理や、各調査内容の些細な分析が必要となり、膨大な時間と労力が必要となる。

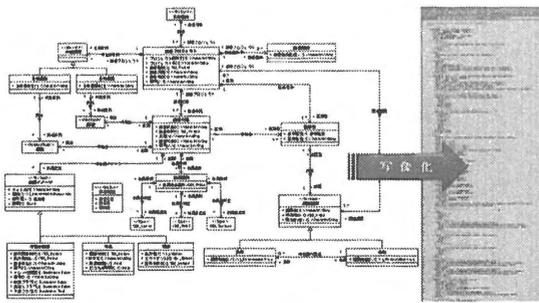


Fig 1-1 オリジナル応用スキーマの設計

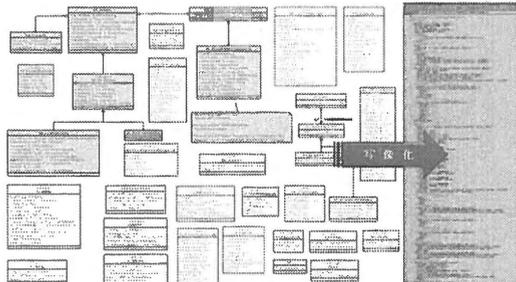


Fig 1-2 地理情報標準に準拠したメタデータ利用

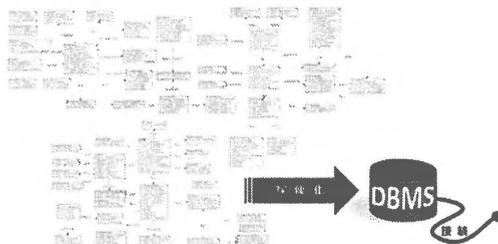


Fig 1-3 オリジナル規格

### ②地理情報標準に準拠したメタデータの利用

地理情報標準の交換メタデータ (ISO19115) に準拠したメタデータを標準化する。例えば、Fig 1-2のグレーの範囲を利用することで、メタデータ記述に必要な情報が標準化される。この部分を入力時のテンプレートとして準備することで、最低限必要な標準化されたデータ入力をサポートする。最も妥当な方法ではあるが、各細別の研究分野の詳細な情報基盤の構築には不向きとなる。文化財情報の管理や蓄積が目的の場合にはよいが、データを用いた現象解析などを想定する場合には、情報の質の劣化が危惧される。

### ③地理情報標準に準拠しないオリジナル規格

完全に独自の企画を開発する。現在一般的に行われている方法ではあるが、具体的には、GISでデータを持つのではなく、リレーショナルデータベースとして実装を進める方向性が妥当とも考えられる。

以上の検討から、本研究では②と③について、それぞれ実装し、入力インターフェイスを製作した。

## 3. データ入力インターフェイスと

### アプリケーションの開発

従来の文化財に関する空間情報の多くは、紙媒体で記録・保管されている場合が一般的で、位置の座標情報を現地で再計測することは不可能な場合が少なくない。また、テキストベースの位置情報 (住所) 記載も一般的であり、空間の分解能、精度いずれにおいても、統一が困難な状況にある。また、今後蓄積されていく情報も基本的には紙媒体であることを想定すれば、①紙媒体を簡単にデジタル化すること (例えば画像としてスキャン)、②デジタル化した地図から空間座標を再計測できること (画像の位置情報の変換)、③その際に標準化の問題をクリアすること、の3つの条件が開発の課題となった。

本研究では、画像としてスキャンした属性値の行列値の置換で対応することとし、画像の中から最低で3

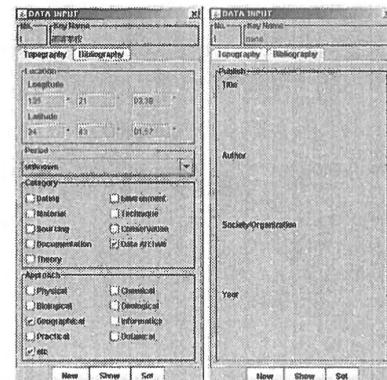
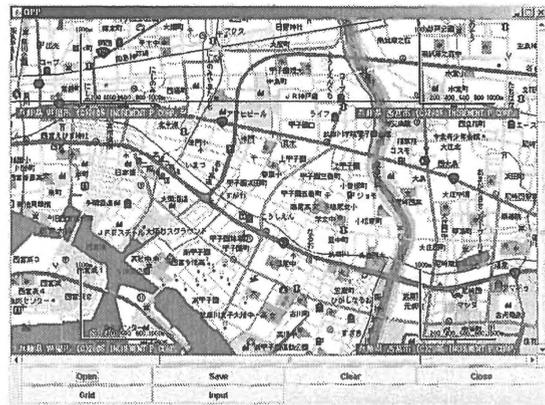
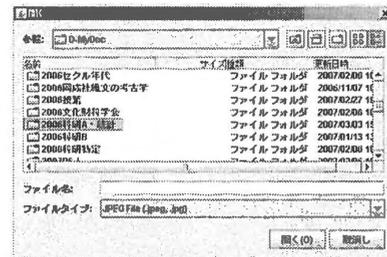


Fig 2 入力用インターフェイスの開発

点のコントロールポイントの座標値を入力することで、幾何補正をかけ、画像全体が簡易的にジオ・コーディングされるシステムとした。入力の際に、地点をマウスでクリックする、あるいは輪郭をトレースすると、入力ウィンドウが開き、その地点の座標情報とデータ項目の入力選択画面で、最低限の情報を入力する。ここで開く入力ウィンドウは、オリジナルの規格で標準化する場合に、独自のカスタマイズが可能となっている（独自の規格設計が必要）。

アプリケーションには、送信ボタンが付されており、オンラインで作業を行う場合には、送信先のサーバーへデータが格納される。

#### 4. GIS サーバーの構築

具体的なWeb-GISサーバーは、Fig. 3のような構成で実装した。これはHTMLの中にPHPを組み込み、このPHPを経由してPostgreSQLを操作するためにWebサーバーを必要とするため、ApacheでWebサービスを担当する構成とした。また、MapServerではCGIを利用する。標準的なHTTP呼び出しを用いることにより、MapServerはCGI変数を用いて定義される地図の範囲やレイヤー数などのプロパティ指定で、地図を生成して表示することが可能となる。検索や地図要素の生成を含む多様な機能を実行可能な状態にする。地図データについては、表示と閲覧にはOpenEV、保管と管理にはPostGIS、変換についてはGDALとOGRが分担する。文献DB、過去の文化財科学に関連する文献の全文テキスト化とメタデータの構築を実施している。

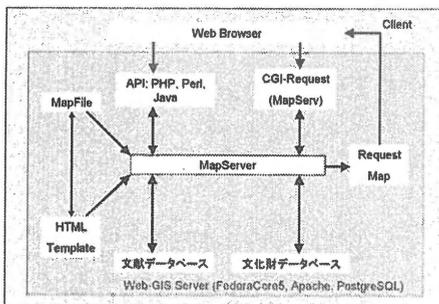


Fig.3-1 システムの構成

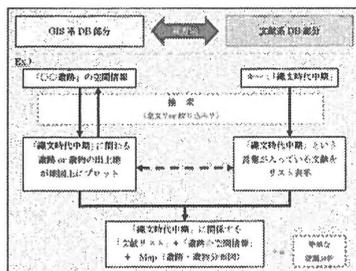


Fig.3-2 実装後の利用のイメージ(文献DB)

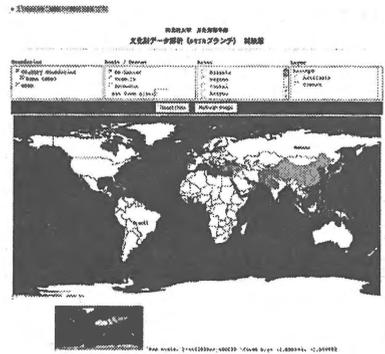


Fig.4-1 Web-GISの初期画面

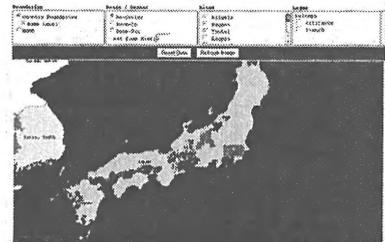


Fig.4-2 日本地域の拡大(集落遺跡:一部)

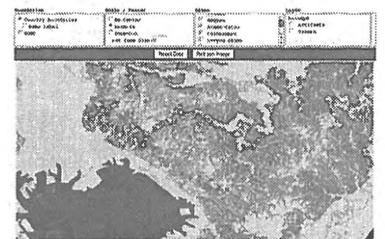


Fig.4-3 千葉県下総台地の貝塚データ

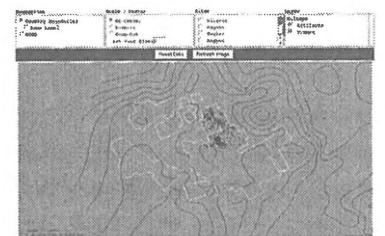


Fig.4-4 拡大して遺跡の内部情報まで

#### 5. データ格納の実際

現在、日本の各値地域、都道府県・市町村教育委員会、中国・社会科学院、タイ・考古総局、トルコ・考古局、オマーン・文化遺産省、チュニジア・文化省などの協力で、各管理単位でアーカイブされてきたアナログ、デジタル双方の埋蔵文化財に関する情報基盤構築を進めている。また、同志社大学文化情報学部の研究プロジェクトと並行し、無形文化財（踊り・言語・方言など）のアーカイブも進めている（Fig. 4）。

本研究の目的は、オンラインで利用できる汎用性のあるデータベースの構築、というだけでなくあくまでも“ローカル・ナリッジ”の研究に主眼をおいている。将来的には、地域の文化財情報を地域の人々の手で入力、管理、保管、解析することが理想形ではあるが、理念の共有や解析技術の開発のためにも、先行して利用可能なデータベースを構築している。

## 6. 文化の可視化分析の方法

時間と空間の情報であらゆる文化財情報を管理することができれば、1つの文化財は1つの情報のカタマリ=Entityとなる。例えば、1枚の絵画を参考と考えると (Fig 5)、文化財科学領域で実践されている各種の理化学分析により、絵画の物性情報が取得できる。顔料の成分分析データのグルーピングから使用した絵の具を推定するなどのアプローチがある。さらに、芸術学的方法論により、絵画の形状や論理情報が取得できる。配色のパターン化や表現技法の定量評価データから絵画描出の目的や意図というコンテキストに近接する。こうした、文化財そのものに内在する情報だけでなく、あらゆる文化財は付随する外在情報としての時空間情報をもつ。これにより、情報のEntityを標準化すると、文化現象の時空間連関が明らかとなる。

こうして明らかとなった時空間連環は、Fig 6のように、個別の情報レイヤーに分解され、属性情報レイヤーとしてGISに格納される。定量的分析を経て時空間座標系で標準化された情報は、空間統計や時系列解析手法により、多次元情報解析がおこなわれ、それらの定量的評価に基づいた時空間現象評価がなされる。このレイヤーは、文化現象の時空間的な切片であり、これらの切片を、シミュレーションや内挿によって文化を“可視化”する

可視化された文化は、Fig 7のように、情報化されたサイバーな時空間座標系において、対象となる文化要素固有の形態的特性を顕現する。これを数理・解析的に表現することで、文化や社会のコンテキストをより定量的に理解、解釈することが可能となる。

従来の文化財や文化遺産に関する情報や資産のアーカイブは、その保存と修復に主眼がおかれ、これを共有ないし活用を具体的に実践してきたとは言い難い現状がある。本研究では、アーカイブは単にデジタル化、することではなく、「情報化 ⇒ 解析 ⇒ 文化に関する新しい知見 ⇒ 公開・共有」に関するプロトコルの開拓と、その実践的応用を実現する。

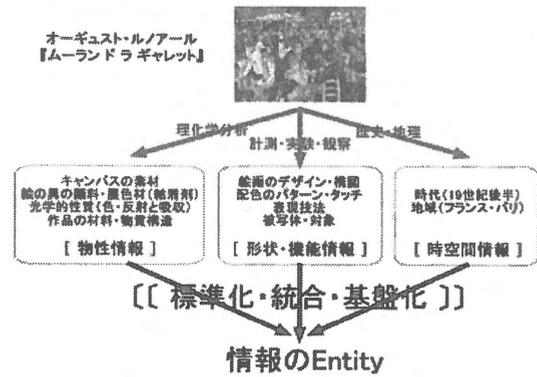


Fig5 絵画からの情報抽出と総合化

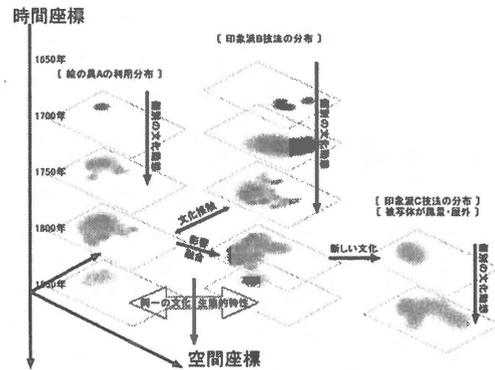


Fig6 時間と空間の展開・解析

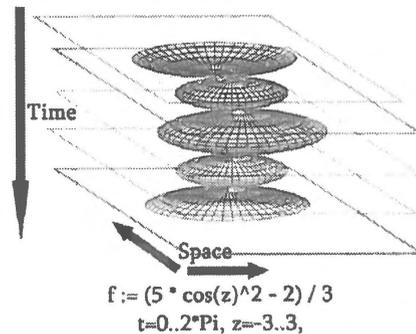


Fig7 時空間内挿と可視化された文化

## 7. 事例研究—異なる文化属性の時空間相関—

具体的な事例研究として、武蔵野台地東部の縄文時代中期の集落遺跡のデータ (Fig 8) から、異なる文化属性相互の時空間的な関係の解析事例をとりあげる。これまでの研究で、対象となる時期の集落から出土した土器の特徴で、それぞれの土器型式・炉の形態・石器の種類などの遺跡からの出土点数による構成比のデータが格納されている。このデータを利用し、各文化要素の時代別の傾向面 (Trend Surface) を描出したのが、Fig 9である。これが、説明のFig 6の、時空間現象解析前の元データとなる。



Table.1 各傾向面の空間相関行列の推移

勝坂1式期	勝坂2式期	勝坂3式期	加曾利E1式期	加曾利E2式期	加曾利E3式期	加曾利E4式期
土器系統	土器系統	土器系統	土器系統	土器系統	土器系統	土器系統
伊勢	伊勢	伊勢	伊勢	伊勢	伊勢	伊勢
加曾利	加曾利	加曾利	加曾利	加曾利	加曾利	加曾利
...	...	...	...	...	...	...

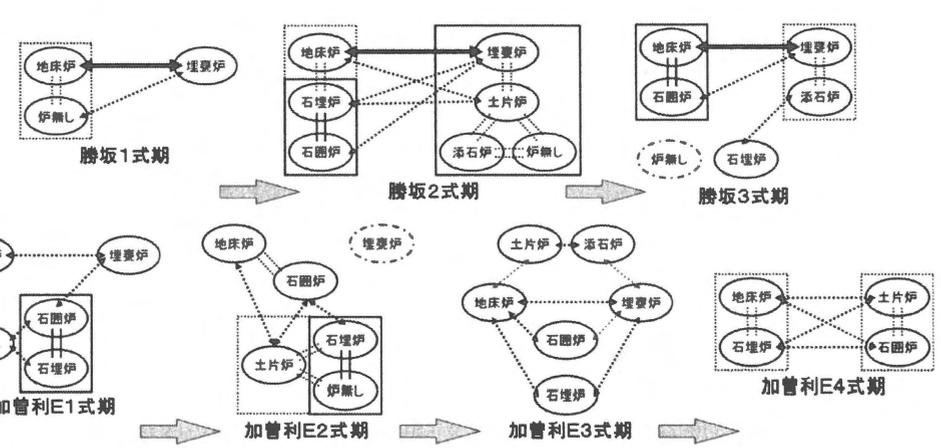


Fig.10 炉の形態の時空間変遷

8. 画像のクラスタリングによる空間分類

Table.1から、各時期において、土器型式に関する文化のローカル・ナリッジはそれぞれに相反するか無関係であることが明らかとなった。しかし、個別の傾向面を丹念に観察すると、各土器型式に関する文化的要素に関するナリッジは、互いに“知っている”状況

であることが推察される。それは、負の相関があることから明らかで、「自分たちの集落の土器」という社会的アイデンティティーの存在が浮き彫りとなってくる。そこで、各土器型式の傾向面を、やはり画像の属性値としてRGB値に割り振り、コンポジット画像を作成した後、3属性値を変数とした教師なし分類で空

間の傾向を分類し、ローカル・ナリッジとも言える土器型式に関する情報の共有域の時空間的展開を解析したのが Fig. 11 である。

時系列での変化をみると、どの Cluster の動態も連続的な傾向を看取することは難しい。だが大局的には、中期前～中葉には、それぞれの土器文化要素は互いに空間的に重複しながらも個別的に分布域を持ち、後葉には、それが融合的な分布域を持ちつつモザイク状の文化・ナリッジの単位を顕現していた様相として理解できるだろう。

### 9. まとめと展望

本研究では、まず人文(科)学がアプローチする文化がどのような性質の実態で、これに情報科学でアプローチするためにはどのような考え方が必要かを検討した。

次に、その理念を実践研究に移すために、オントロジーの方法と GIS の技術、Web-GIS の開発などを行い、具体的な文化に関するデータ基盤の構築を行った。

最後に、この蓄積されたデータの一部を利用して、文化財情報から文化を可視化する方法を検討し、実際の事例研究を通じて、縄文時代人のローカル・ナリッジ、特に土器や炉、石器といった生活資材に関すること、生活様式に関する文化の実態の把握を試みた。結果として、時系列解析や空間統計・幾何学的なデータサイエンスの手法を用いることで、不可視だった文化が可視的な実体として浮かび上がり、往時の空間の分類を行うことが可能となった。

**謝辞** 本研究は報告者が研究代表を務める研究プロジェクトの成果の一部である。メンバー各位に、記して心よりの御礼を申し上げます。

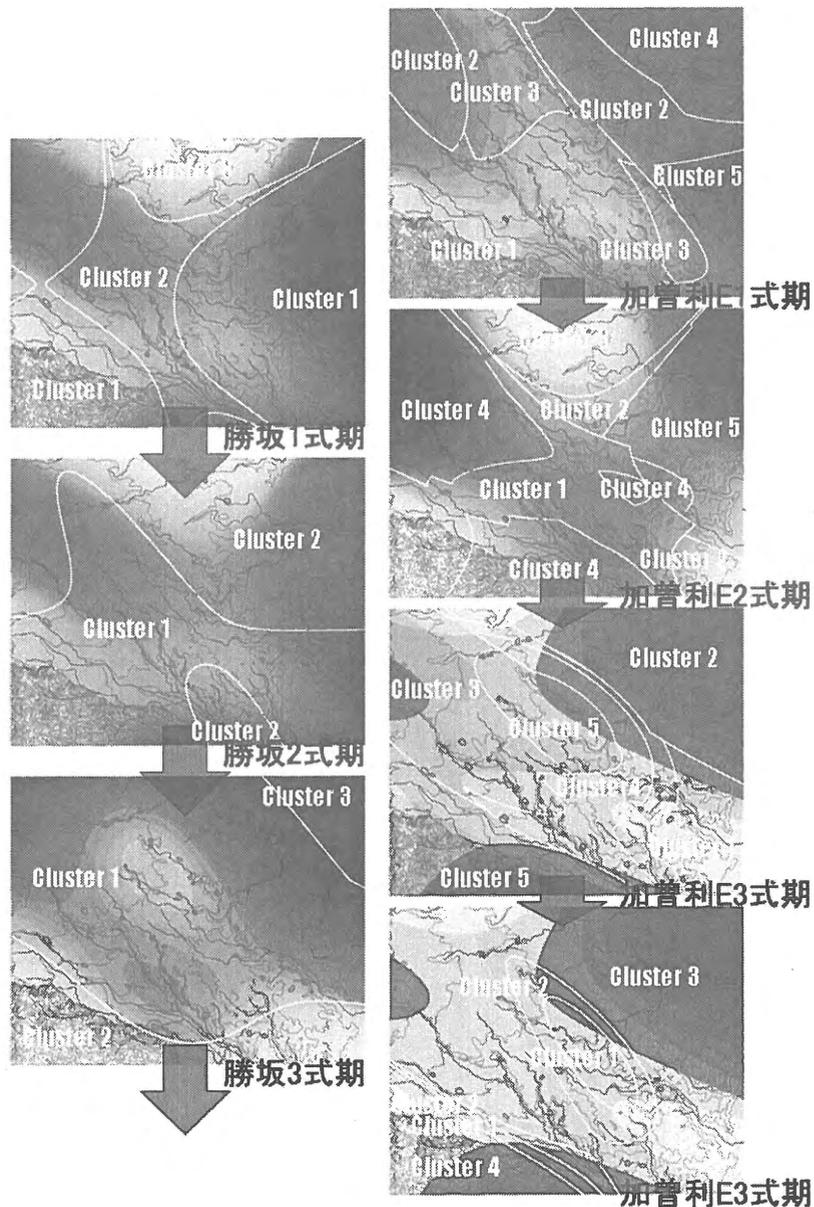


Fig.11 文化に関するナリッジの組み合わせによる空間分類

### 参考文献

- 津村宏臣 文化財と時空間情報科学。「文化財の調査研究および保護に対する地理情報システムの利用」(東京文化財研究所編). pp.16-31. 2006年
- Tsumura, H and OMURA, S AISDAS Project in Kaman-Kalehöyük, Turke. Developing of Archaeo-Informatics and Technology -. , *Papers and Proceedings of Japan Society for Archaeological Information* Vol. 2. pp. 63-72. 2006年
- 津村宏臣 地域性とは何かを考える。「中・四国地方旧石器文化の地域性と集団関係」(中四国旧石器文化談話会) pp.292-293. 2004年

# 顔画像のフラクタル次元と好感度の関係

## Relationship between Fractal Dimension and Agreeability of Facial Imagery

雄山 真弓

Mayumi Oyama

関西学院大学 文学部 総合心理科学科 兵庫県西宮市上ヶ原 1-1-155

Department of Integrated Psychological

Science, Kwansei Gakuin University 1-1-155, Ichibancho, Uegahara,

Nishinomiya-City, 662-8501, Japan

あらまし: 人間は、なぜ真顔よりも笑顔に、喜んだり、ほっとしたり、共感をもったりするのであろうか? 本研究は23名の若者の真顔と笑顔の顔画像46枚を使って、顔画像の人物と面識のない被験者84名に、好感度を評価させた。画像は、一枚ずつ提示し、好感度は1から10の10段階でおこなった。さらに、46枚の顔画像を真顔と笑顔に分けてフラクタル解析を行った。解析法は、平面法と立体法で行い2種類のフラクタル次元を求めた。さらに、顔の目と口についても真顔と笑顔で比較を行った。その結果、真顔の口と笑顔の口では、フラクタル次元の値に有意な差が認められた。さらに好感度との関係を調べた結果、好感度の値とフラクタル次元の値に相関関係があることがわかった。しかし、口部分のフラクタル次元と、好感度では相関が認められなかった。その結果、好感度は、顔全体で判断している値であり、顔の部分で判断していないことが判明した。視覚情報と関連するフラクタル次元は、認知や意識に関係する値であることが示唆された。

**Summary:** Why do people feel happy and good, or equivalently empathize more, with smiling faces than with expressionless faces? To understand the mechanism in this study, 84 subjects evaluated the degree of agreeability of 46 expressionless and smiling facial images taken from 23 young persons to whom the subjects were no any pre-acquired knowledge. Images were presented one at a time to each subject who was asked to rank agreeability on a scale from 1 to 10. Fractal analysis was then performed for the 46 facial images separated into expressionless and smiling categories. Two types of fractal dimensions were obtained using planar and 3-D analysis methods, respectively. The results show a significant difference in the fractal dimension values between expressionless faces and smiling ones. Furthermore, we found a well correlation between the degree of agreeability and fractal dimensions, implying that the fractal dimension optically obtained in relation to complexity in imagery information is useful to characterize the psychological processes of cognition and awareness.

**キーワード:** フラクタル次元, フラクタル解析, 好感度, イメージ, 顔

**Keywords:** Fractal dimension, Fractal analysis, Agreeability, Images, Faces.

### 1. はじめに

人の顔は、無限の多様性があり、全く同じ顔は存在しない。個々の人間の顔は、目、鼻、口など、視覚パターンとしては相互に類似した特徴があるが、我々は、それぞれに固有な特徴を見つけて個人を識別し、認識することができる。これは、人間同士のコミュニケー

ションを支える最も基本的な能力である。しかし、この能力を支えるのは、どのような情報処理を行っているのであろうか。さらに、人が他者を視角から認知する要素の1つに好感度というものがある。人に対する好感度は、単純にかっこいい、かわいい、優しくなど良い印象を与えることを好感度が高いと言い、逆に悪い

印象を与えることを好感度が低いという。例え初対面で話したことがない人であっても、人は顔を見るだけで、好感度を判断できる。これは、どのような情報処理が行われているのであろうか？

本研究は、人間が笑顔と真顔の認知ができることが、画像の揺らぎに関係することを検証するために、顔画像の笑顔と真顔フラクタル次元を求めて、それらの関係を調べる。さらに、真顔と笑顔の画像を被験者に提示し、好感度を判定させ、好感度とフラクタル次元の関係を分析する。主観的な評価値である好感度と客観的な方法で求めたフラクタル次元の関係を調べることによって、人間の認知のメカニズムを調べることを目的としている。

顔の研究については、顔の表情も含めて多くの研究が行われてきた(池田(1987)。その主流をなしてきたのが相貌学と解剖学である。いずれの研究も、すべて線形解析の方法で行われてきた。しかし、人間は複雑系であり、顔の表情は非線形の解析法で行う必要がある。本研究は、非線形のフラクタル解析法を用いてフラクタル次元を計算した。顔の解析法としては、これまでにない新しい試みである。

## 2. 実験の方法

顔画像の使用にあたっては、顔画像提供者の許可を得て行った。さらに、好感度評価を行う被験者には、顔の美醜で評価するのではなく、好感度で評価することを伝えて実験をおこなった。

### 2.1 実験期間

画像撮影 2006年7月、

画像提示実験 2007年5月

### 2.2 顔画像の作成

顔画像は、23人(男性11人、女性12人)の真顔と笑顔のカラー写真46枚をデジタルカメラで撮影した。

年齢は、平均年齢20.3歳(範囲:18歳-23歳)であった。写真の撮影は、背景を無地の白い壁で統一し、バスタップで撮影した。

### 2.3 フラクタル次元の計算

笑顔と真顔の写真をbmp形式で用意し、計算には同じ人物の映像の計算にあたっては笑顔と真顔を同

じピクセルで計算した。さらに、顔の表情に関する目と口の部分についても、笑顔と真顔のフラクタル次元を計算し、比較を行った。平面法はカラー画像を白黒の濃淡で置き換えたbmpファイルを使い、立体法ではカラーを3次元で5段階の色で表現した。



図1. フラクタル次元を計算するための画像の変換例

写真の現物(左)、計算のため166\*196ピクセル取り込んだ白黒画像(中央)と立体画像(右)立体画像は、色で高さを表現し、3次元画像に変換している。フラクタル次元の計算は、全ての画像に対して、図1の中央の画像を用いた平面法と図1の右端の立体画像を用いた立体法の2種類でおこなった。

## 2.4 好感度の測定

顔画像46枚を1枚ずつ提示し、1から10段階で好感度を、記入用紙に書かせた。被験者は、ほぼ同じ年齢の大学生(男性30名、女性54名、計84名)を選んだ。

被験者の平均年齢は19.6歳(範囲:18歳~26歳)であった。被験者は、好感度の判定に影響がないように写真の人物と面識のない人を選んだ。

## 3. 手続き

被験者の課題はディスプレイに映し出された写真の人物の好感度を10段階(10点が最高点、1点が最低点)で評価させた。

被験者への画像の提示の方法は真顔と笑顔の46枚の画像を順不同になるようにシャッフルして提示した。

画像の提示に当たっては、同一人物の真顔と笑顔があることを、被験者には伝えなかった。また、

写真の提示は 20 秒間で、その後 10 秒間で好感度の記入をさせた。写真の提示順序は、全ての被験者に対して同じ順序、同じ提示時間でおこなった。

教示においては、被験者が好感度を判断する際は顔の美醜ではなく好感度がもてるかどうかで判断させるようにした。実験の途中で休憩などは挟まず実験を行い、実験の所要時間は教示なども含めて約 25 分であった。

#### 4. フラクタル次元の計算方法

本研究実験ではフラクタル次元を計算するために、元の写真を白黒写真に置き換え、さらに色の違いを高さによって表した 3 次元の画像に置き換える。このようにして 3 次元に置き換えた空間を画像濃度空間と呼ぶ。

画像濃度空間の濃度面の起伏を用いたフラクタルモデルはデジタルカメラで撮影された写真を含む様々な画像の構造や色合いを描写することができる。画像濃度空間の濃度面の起伏の複雑さを示すフラクタル次元を推測する方法としてフラクタル

ブラウン関数に従って  $x$  pixel の濃度値  $I(x)$  を推量する方法がある (Pentland, 1984)。自己相似性によって特徴づけられる統計的フラクタルの代表的な記述モデルであるフラクタルブラウン関数

$I(x)$  を画像の濃度値で定義すると、任意の変位  $\Delta x$  について次の式 (1) を得る。

$$E\left[|I(x + \Delta x) - I(x)| \cdot |\Delta x|^{-H}\right] = C \quad (1)$$

但し、 $E[\ ]$  は変位  $\Delta x$  (pixel) を固定したときの期待値を表している。 $H$  と  $C$  が定数であるので、式 (1) は両対数表示をすると、直線部分の傾きが  $H$  であることを意味している。 $H$  によって画像の濃度

空間の 3 次元曲面のフラクタル次元  $D$  は次の式 (2) で与えられる。

$$D = 3 - H \quad (2)$$

この計算を単純化するために、2 つの方法が発展してきた (Shimada et al, 2000)。まず立体法と呼ばれる方法がある。この方法はプロセスを増加した解答でカバーすることで画像データから得られた画像濃度空間の濃度面のフラクタル次元を推論するアプローチである。1 辺の長さが  $r$  pixel の長さからなる立方体について考えてみると、画像の表

面を覆うのに必要とする立方体の数を  $N(r)$  とする。そのうえで、次の式 (3) のような関係が定数  $C$  と共に存在すれば、 $H$  は画像の表面のフラクタル次元を評価した値となる。

$$N(r) \cdot r^H = C \quad (3)$$

図 2 は立体法のイメージである。aria  $A$  という領域があったとする。そして、大きさ  $r \times r \times r$  の立方体と  $A$  上にある  $r \times r$  の領域を考える。仮に  $r \times r$  の領域が立方体によって完全に覆われたとすると立方体の必要数  $n(r)$  は次の式 (4) となる。

$$n(r) = \text{floor} \left\{ \frac{\max(f_i) - \min(f_i)}{r} \right\} + 1 \quad (4)$$

ここで  $\text{floor}\{ \}$  は小数点以下を切り捨てること

を意味し、 $f_i (i = 1, 2, 3, 4)$  は各地点の濃度値を表

している。 $n(r)$  を  $A$  の全領域において測定し、そ

れを平均した値を  $\langle n(r) \rangle$  とすると、 $A$  の表面を覆

うのに必要な立方体の総個数  $N(r)$  は次の式 (5) となる。

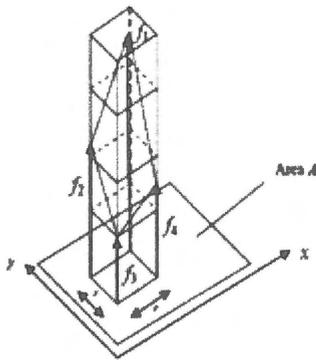


図2. 画像域 A におけるフラクタル次元の推定

$$N(r) = \frac{\langle n(r) \rangle \cdot (\text{Aの面積})}{r^2} \quad (5)$$

最後に、 $r$  の大きさを増加させていくことによる

$\log_{10}(r)$  と  $\log_{10} N(r)$  の連続するデータポイント

を回帰することでフラクタル次元  $D$  を得る。

さらに、計算を単純化するための方法に平面法と呼ばれるものがある。この方法は立体法で用いた立方体単位の個数を数える代わりに面を覆う小さなエリア単位の個数を数える方法である。この方法は、粗視化の程度を変える方法や parameter-based model の手法を用いることにより画像の濃度の波のように動く複雑性を表すフラクタル次元を計算する。

$$H = \frac{-\log_{10} \left( \frac{E[F(at)]}{E[F(t)]} \right)}{\log_{10} \left( \frac{1}{a} \right)} \quad (6)$$

式 (6) では、固定値に  $t$  を置くこと、 $\frac{1}{a}$  のように

$E[F(a)]$  の長さの単位の計算によってパーティ

ションの数を計算すること、または、 $\frac{1}{a} \times \frac{1}{a}$  とい

った小さなエリア単位で画像濃度の曲面のパーティションの数を計算することで、上記の式は

$N\left(\frac{1}{a}\right)$  と表すことができる。そして、 $\frac{1}{a} = r$  と

置くことで、式 (1) は次の式 (7) のように書き換えることができる。

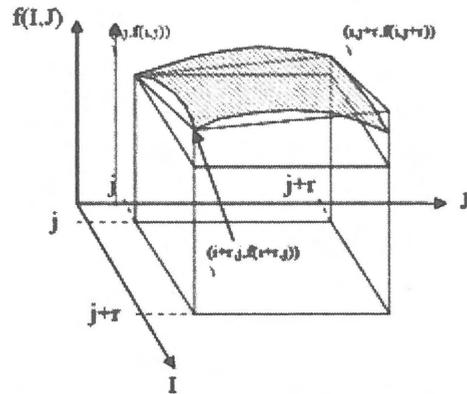


図3. フラクタル次元を計算するための領域

$$\log_{10} N(r) = -H \log_{10} r + \log_{10} N(1) \quad (7)$$

画像では式 (2) の左辺を計算した値は、 $r$  に依存する。したがって、流動性は正常である。しかし、仮に画像が自然におけるフラクタルであれば、直線性は大いに保たれる。

この方法ではフラクタル次元  $H$  は値  $(\log_{10} r, \log_{10} N(r))$  ( $r = 1, 2, \dots$ ) について最小

二乗法で導き出した回帰線の傾きを定めることで計算される。得られた値は、 $-H$  を見積もるのに使うことができる。

画像のような 2 次元の対象では、 $r \times r$  のような小さなエリアの単位を用いて計算した画像濃度の曲

面の表面積を  $S(r)$  と置くことで、次の式 (8) が得られる。

$$S(r) = r^2 \cdot N(r) \quad (8)$$

したがって、式 (2) は次の式 (9) のように置き換えられる。

$$\log_{10} S(r) = (2 - H) \log_{10} r + \log_{10} S(1)$$

(9)

ここで、 $r \times r$  の小さなエリアの表面積は図3でい  
えば、

$(i, j, f(i, j)), (i+r, j, f(i+r, j)), (i, j+r, f(i, j+r))$   
で見られる三角形の表面積の2倍である。

値  $(\log_{10} r, \log_{10} S(r)), (r = 1, 2, \dots)$  について最  
小二乗法によって回帰線の傾きを得ることで、見積  
もった値  $2 - H$  はフラクタル次元を計算するの  
に使うことができる。

## 5. 結果の分析

### 5.1 真顔と笑顔のフラクタル次元

図4は、真顔の場合、図5は笑顔の場合の画像と  
フラクタル次元（平面法と立体法）の関係を示し  
ている。フラクタル次元は平面法で行った値と立  
体法で行った値の間に高い相関があることがわか  
る。

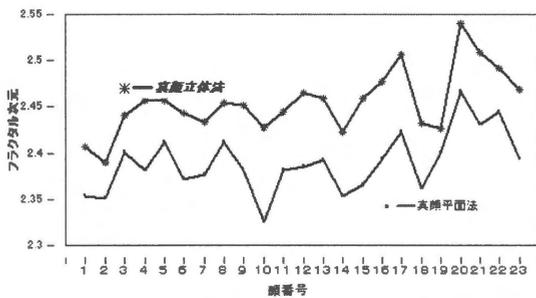


図4 真顔画像の平面法・立体法の  
フラクタル次元の関係

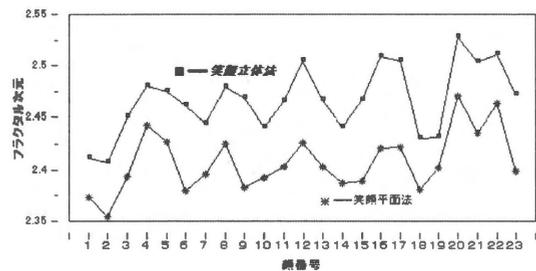


図5 笑顔画像の平面法・立体法のフラク  
タル次元の関係

図6、図7は、平面法、立体法それぞれについて、  
真顔と笑顔の関係を示している。平面法、立体法

で求めたフラクタル次元は、全ての画像で、笑顔  
が真顔よりもフラクタル次元が高いという興味あ  
る結果を示している。

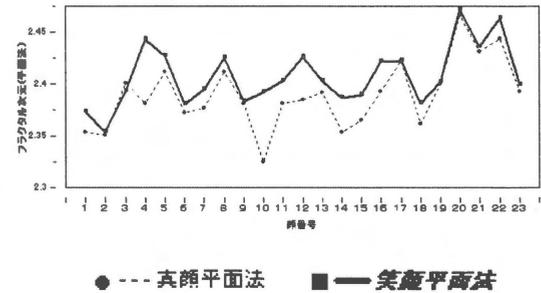


図6. 真顔・笑顔のフラクタル次元比較（平面法）

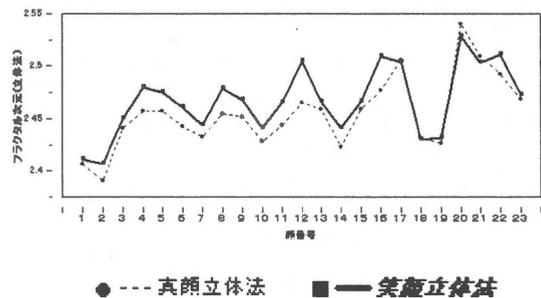


図7. 真顔・笑顔のフラクタル次元比較（立体法）

### 5.2 真顔と笑顔の口・目のフラクタル次元

笑顔と真顔の表情に関する口と目の部分について、  
フラクタル次元を求めた。

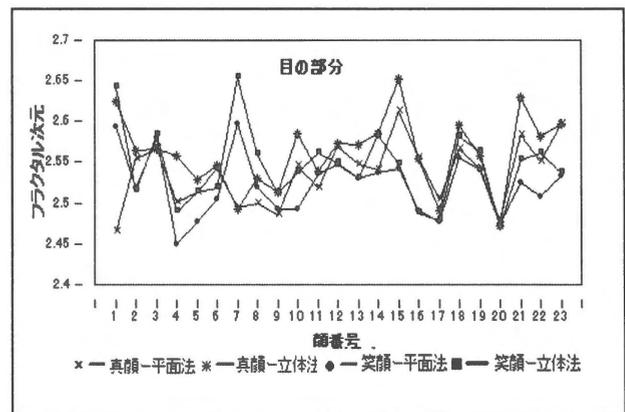


図8. 目の部分のフラクタル次元(平面法・立体法)

図8・は目の部分について真顔と笑顔の比較を平面法  
と立体法で行った結果である。笑顔・真顔、平面法、立  
体法のフラクタル次元は、有意な差は見られなかつた。  
次に、口について同様な比較を行った結果を図9に示

す。口の部分は、笑顔と真顔のフラクタル次元に有意な差があることがわかった。

表1は分散分析の結果である。今回の実験では笑顔は歯をだして笑っている顔が多かったことが起因していると思われるが、笑顔の自然な表情であり、顔全体のフラクタル次元を高くする要因が口にあるかどうかを検証する必要がある。その結果を5.5に示す。

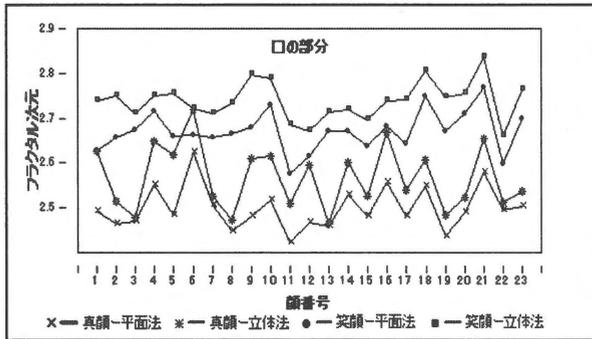


図9.口の部分のフラクタル次元(平面法・立体法)

表1

笑顔・真顔の口部分のフラクタル次元の分散分析

平面法					
要因	自由度	平方和	平均平方	F値	p値(Prob>F)
真顔・笑顔	1	0.33644252	0.336443	97.7834	<.0001*
誤差	44	0.15139043	0.003441		
全体(修正済み)	45	0.48783296			
立体法					
要因	自由度	平方和	平均平方	F値	p値(Prob>F)
真顔・笑顔	1	0.33764089	0.337641	155.0227	<.0001*
誤差	44	0.09583243	0.002178		
全体(修正済み)	45	0.43347333			

図10は笑顔と真顔の口部分のフラクタル次元を立体法についてStudent t検定(0.05%)を行った結果を図で示している。いずれも有意な結果を示している。

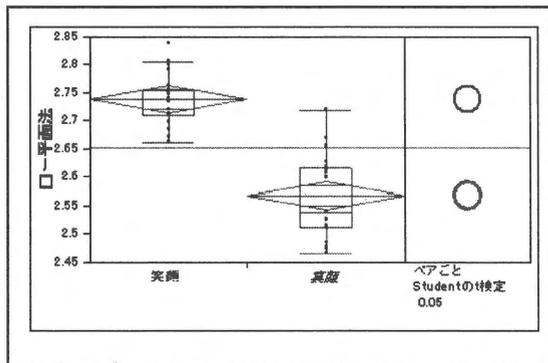


図10 真顔と笑顔の口部分の有意差の検定(平面法)

### 5.3 真顔と笑顔の好感度の結果

23人の真顔と笑顔の画像46枚を順不同にして被験者86名に提示し1から10段階で好感度デー

タを集めた。画像はそれぞれ20秒間、ディスプレイ上に提示した。その結果を図11にしめす、笑顔に対する好感度が真顔よりも高いことがわかった。

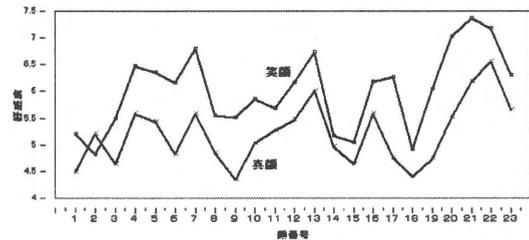


図11 真顔と笑顔の好感度比較

2番の画像だけが真顔と笑顔が逆転しているが、笑顔を不自然で悲しい顔にみえることが原因と思われる。その他の、全ての画像で笑顔の好感度が高い結果となっている。図12にStudent t検定(0.05%)を行った結果を示す。

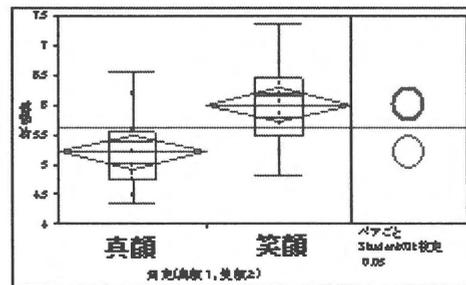


図12 真顔と笑顔の好感度についてのStudent t検定(0.05%)

### 5.4 好感度とフラクタル次元の関係

次に、5.1と5.3で求めた、フラクタル次元と好感度の関係を調べた。表2は立体法、平面法で行ったフラクタル次元と好感度の関係を笑顔・真顔に分けて相関関係を求めたものである。

表2. フラクタル次元と好感度の相関関係

	真顔平面法	真顔立体法	真顔好感度
真顔平面法	1.0000	0.8345	0.4773
真顔立体法	0.8345	1.0000	0.4799
真顔好感度	0.4773	0.4799	1.0000
	笑顔平面法	笑顔立体法	笑顔好感度
笑顔平面法	1.0000	0.8650	0.7610
笑顔立体法	0.8650	1.0000	0.6891
笑顔好感度	0.7610	0.6891	1.0000

表2に示すように、笑顔の好感度と平面法のフラクタル次元が0.761、立体法では0.689という高い値を示している。一方、真顔では好感度は立体法、平面法いずれにおいても0.47であり。笑顔が真顔よりもフラクタル次元との関係で高い相関関係を示していることがわかった。

図13は横軸に好感度、縦軸に平面法で求めたフラクタル次元の関係を示し、笑顔と真顔に分けて95%の確率楕円を表示した。表1でも示したように笑顔と真顔では、95%の確率楕円の広がりからも、明らかに笑顔のフラクタル次元と好感度の相関が高いことがわかる。

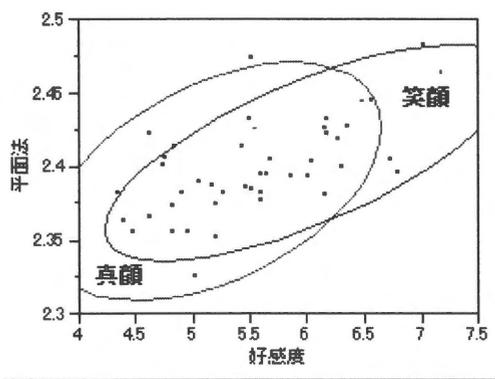


図13 好感度とフラクタル次元(平面法)の真顔・笑顔別確率楕円(95%)

### 5.5 口・目部分のフラクタル次元と好感度の関係

口・目部分のフラクタル次元が笑顔と真顔で有意な差が見られてことを、図10に示したが、好感度についても目・口の状態で変わるかどうかを検証する必要がある。

表3. 顔の部分のフラクタル次元と好感度関係

笑顔・平面法			
笑顔好感度	1.0000	-0.3113	0.1470
目・笑顔・平面法	-0.3113	1.0000	-0.2257
口・笑顔・平面法	0.1470	-0.2257	1.0000
笑顔・立体法			
笑顔好感度	1.0000	-0.2323	-0.0117
目・笑顔・立体法	-0.2323	1.0000	-0.2032
口・笑顔・立体法	-0.0117	-0.2032	1.0000
真顔・平面法			
真顔好感度	1.0000	0.1875	0.1136
目・真顔・平面法	0.1875	1.0000	0.1678
口・真顔・平面法	0.1136	0.1678	1.0000
真顔・立体法			
真顔好感度	1.0000	0.0101	-0.0576
目・真顔・立体法	0.0101	1.0000	0.1719
口・真顔・立体法	-0.0576	0.1719	1.0000

表3は目・口部分のフラクタル次元と笑顔・真顔で調べた結果である。目・口の部分のフラクタル次元と好感度との間に相関関係がないことがわかった。

その結果、好感度評価は、目や口の部分的なフラクタル次元とは関係なく、顔全体で好感度を決めていることが解明された。

## 6. 結果の考察

本研究では、フラクタル次元を求める方法として、平面法と立体法を用いた。2つの方法は高い相関があり、フラクタル次元の計算法は正しいことが証明された。次に顔画像を真顔と笑顔に分けてフラクタル次元を比較した。その結果、いずれの顔画像においても、笑顔が真顔よりもフラクタル次元が高いことが実証された。人間が笑顔か真顔かを認知できる主観的な手段が、フラクタル次元という客観的な数値で明確に表現できた。さらに、顔画像の観察から好感度を判断するという人間の主観的な認知の方法が、フラクタル次元と大きく関係することも示した。今後は多くの表情や年齢層の異なる顔画像について分析を行い、フラクタル次元と認知の関係について研究を行っていく予定である。

## 7. おわりに

生体情報はカオスの振舞いを示すことは自明である。人間が行っている情報処理を理解することはこれまでの主観的方法では、解明が難しかった。特に、生体の情報処理においては、これまでの線形の解析法では詳細な分析はできなかった、本研究は、顔画像を非線形の解析法を用いて、フラクタル次元の値を求めることで、人間の認知という情報処理のメカニズムを解明できる可能性が得た。

## 8. 謝辞

写真画像の利用に協力いただいた23人の方々と撮影をしてくださった雄山研究室卒業生の佐野雄一さん、好感度の入力などで協力してくださった

伊藤泰大さんに感謝します。また、被験者として参加くださった関西学院大学の86名の学生の協力に感謝します。

#### 参考文献

1. T. Kanade, Picture Processing System by Computer Complex and Recognition of Human Faces, Ph.D. dissertation, Kyoto University (1973).
2. M. Turk, A. Pentland, J. Cogn. Neurosci. 3, 71 (1991).
3. M. Turk, A. Pentland, Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 586 (1991).
4. T. Kurita, N. Otsu, T. Sato, Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition, 213 (1992).
5. G. J. Kaufman, K. J. Breeding, IEEE Trans. on Systems Man Cybernetics, SMC-6, 2, 113 (1976).
6. L. D. Harmon, M. K. Khan, R. Lasch, P. F. Ramig, Pattern Recog. 13, 87 (1981).
7. J. T. Lapreste, J. Y. Cartoux, M. Richetin, Face Recognition from Range Data by Structural Analysis, NATO ASI Series, F45, Syntactic and Structural Pattern Recognition, Springer-Verlag (1989).
8. H. Tanaka, F. Kishino, IEEE Trans. CV-73, 17 (1991).
9. S. Suzuki, Y. Tatsuno, N. Yokoya, H. Iwasa, H. Takemura, Proc. 2nd Asian Conf. on Computer Vision (ACCV'95), II, 474 (1995).
10. P. Ekman, W. Friesen, Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement, Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press (1978).
11. P. Laplante, Fractal Mania. New York: Windcrest, McGraw-Hill (1994).
12. A. P. Pentland, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-6, 661 (1984).
13. S. Shimada et al., T. IEE Japan, 120-C, 1429 (2000).
14. M. B. Barnsley, Fractals Everywhere, London: Academic Press (1988).
15. T. Miao, O. Shimoyama, T. Shimizu, M. Oyama-Higa, *IEEE Int. Conf. on Systems Man Cybernetics*, Oct. 8–11, 2006, Taiwan, 1671 (2006).

崇神天皇の崩年はいつ頃か  
—崩年モデルによる数理的検討—  
When Did the Emperor Sujin Die?  
—A Consideration Based on a Mathematical Model—

小沢 一雅

Kazumasa Ozawa

大阪電気通信大学, 寝屋川市

Osaka Electro-Communication University, Neyagawa, Osaka

あらまし：歴史学における重要な数値情報は年代である。日本書紀では、すべての事象が天皇の年代を基準とした編年体で記載されている。事象の年代決定にとって、天皇崩年は重要な基準である。本稿では、日本古代のキーパーソンである崇神天皇の崩年について、崩年モデルにもとづく数理的な検討を試みる。崩年モデルとは、天皇の崩年を数値系列としてみたとき、そこにある規則性を記述する数理モデルである。本稿では、崇神天皇に関する考察の前提となる崩年モデルについてもやや詳細に紹介する。

*Summary:* Date is the most important numerical information in history, which plays a key role in analyzing relations between ancient events. In most cases, official books of history edited by the ancient East Asian kingdoms are nothing but a set of biographies of kings, in each of which many historical events contemporary with a king are recorded in temporal order. However dates of ancient kings have sometimes been feigned to be older than real ones in those books; accordingly a number of historical events have wrongly been dated. This paper presents a consideration on the year of death of the Emperor Sujin who would play a very important role in understanding the ancient history of Japan. The quantitative consideration has been based on a mathematical model that has been introduced for a sequence of years when successive emperors died.

キーワード： 崇神天皇, 崩年, 数理モデル, 日本古代史

*Keywords:* Emperor Sujin, Year of Death, Mathematical Model, Ancient History of Japan

## 1. はじめに

日本の古代を考える上で天皇に関する年代情報はきわめて重要な役割をはたす。その理由は、わが国古代の記録である『日本書紀』や『古事記』が主として天皇を軸とした歴代記の形式でさまざまな事跡を記載しているからだ。つまり、すべての事跡が、天皇在位中の出来事として記載されている。編年体をなす日本書紀では、さらに詳細に天皇在位中のいつの出来事なのかがしるされている。たとえば、日本書紀・応神紀には、

十六年 (前略) この年百済の阿花王が薨じた。天皇は直支王をよんで語っていわれた。「あなたは国に帰って位につきなさい」と。よって東韓の地を賜り遣わされた。(後略)

とある[1]。

直支王とは、百済が倭と修好するために397年に質として倭に送った太子直支（とき）のことである。以来、直支は倭に滞在し、405年に帰国して百済第18代の腆支王となった人物である（年代は『三国史記』『百済本紀』による）。応神天皇十六年の条はこの間の事情を伝えている。直支が帰国したという出来事は、歴史上の事実でありそれじしん固有の年代をもつものだが、日本書紀では応神天皇の在位16年目の出来事として記載されている。応神天皇の崩年（崩御年）について、日本書紀では310年、古事記では394年となっている。直支の事跡についてあきらかに年代上の矛盾が起こっている。

この例のみならず、記紀に記載される古代天皇の年代については、周知のとおり学術的にみて多くの疑念があるとされてきた[2]。こうした年代についての疑念も一因となつてか、古代天皇の实在そのものにも疑念が及んでいく。

多数意見として实在が認められているもっとも古い天皇は第10代崇神天皇である。さらに、どの古墳が崇神天皇の墓なのかという陵墓比定の問題については意見が分かれるものの、少なくとも陵墓が前方後円墳として实在することも多数意見として認められている。

崇神天皇は、文献史学と考古学とのいわばもっとも古い時刻における異論の少ない明確な接点であって、日本古代を解明するキーパーソンといえる。重大な問題は、崇神天皇が本当のところいつ頃活躍した天皇なのかがじつは明確でないことである。本稿では、天皇の崩年モデル[3]を基礎にして崇神天皇の崩年について数理的な考察を行う。

## 2. 年代基準としての天皇崩年

古代における年代上の問題の根源は、1つの干支年が60年周期で複数の西暦年に対応することにある。埼玉県の新倉山古墳から出土した鉄剣に刻まれている「辛亥年」に対して、5世紀中でいえば411年か471年かというように2つの西暦年の候補が出てくる事例がそれを物語っている。干支年はこのように60年周期であるから、もし事跡の年代をわざと古くみせる目的で人為的に60年あるいは120年くり上げても、見かけ上の干支は変わらない。“装古操作”である。よく知られている具体的な例をあげてみる。

日本書紀・神功皇后紀には、神功64年に百済の貴須王（近仇首王）の崩御、翌年65年におなじく百済の枕流王崩御の記述がある。神功皇后の崩御が69年己丑年とあるから、貴須王と枕流王の崩年は逆算すると表1のように干支年では甲申年と乙酉年となり、百済本紀の記載と一致する。ただし、日本書紀と百済本紀におけるそれぞれの干支年を西暦換算すると同表のようにぴったり120年の差が現れる。日本書紀がこの事跡の干支年を二運（120年）くり上げていることは明らかである。この場合のように誤差のしくみが明らかであれば、誤差を積極的に修正すべきであるし、そうすることによって関連する事跡の情動的価値を高めることができる。

さて、干支年による年代表記はこのように問題が多い。とくに、複数の史料にまたがって記事の照合を行おうとする場合、60年という周期性のある表記法は、きわめて煩雑である上に、長い期間を視野に入れた大局的な観察にもなじまない。

やはり、すべての歴史的事象を基準化された時間尺によって統一的に把握する必要があるだろう。いうまでもなく、西暦年への変換が必要ということだ。

表1 百濟王の崩年干支

	日本書紀		百濟本紀	
	崩年干支	西暦年	崩年干支	西暦年
貴須王	甲申	264	甲申	384
枕流王	乙酉	265	乙酉	385

西暦年への変換によって干支年表記の中に潜む何らかの法則性が消滅する危惧をもつ人がいるかもしれない。まったく心配は

ない。もし、何らかの法則性があったとしても、すべて消滅することなく西暦年表記の中にきちり温存される。これは数学的には自明のことである。変換された西暦年データをデータとして、もとの干支年がもっていた法則性を分析することは問題なくできるわけだ。むしろ、このやり方が分析しやすいだろう。

王朝史、とりわけ王朝の創成期における事象の記録についていえば、より古く位置づけようとする傾向がみられる。“装古現象”である。これは日本書紀のみならず朝鮮の三韓史においても同様であって、誤差を修正する合理的な方法がみつければ、積極的に修正を加えていくことが必要だ。日本古代を考える場合には、とりわけすべての年代の基準となっている天皇の崩年（または即位年）をできるかぎり正確におさえていくことが必要である。

### 3. 記紀がしるす天皇崩年

さきに書いたように、記紀においては天皇を中心とする歴代記中にさまざまな事跡が記録され、年代も天皇の即位年を起点としている。個々の事跡を考えていく場合、もっとも重要な情報基準である年代がすべて天皇を軸としたものである以上、天皇の年代をきちんと分析して精査しなければならない。崩年はこのためのよいデータである。

記紀に記載されている天皇は、古事記においては推古天皇までの33代、日本書紀では持統天皇までの41代である。推古天皇までの天皇については両書に記載されているが、内容にかなりのちがいがあ。古事記とはちがって日本書紀は「正史」として編纂されていることなど両書の性格はまったく異なっているからだ。このあたりの議論はすでに昔から行われているので、詳細は他書にゆずる。

ここでは、天皇崩年について両書の対応がちがっている点に注目する。ひとつは、日本書紀が神武天皇以降、天武天皇までの崩年を漏れなく記載しているのに対して、古事記では王朝創成期にあたる何人かの初期天皇の崩年が欠落していることである。もう一つの注目点は、おなじ天皇についても両書の崩年が異なる場合がいくつかあることである。

ここで、天皇の崩年を考えるために、記紀がともにしるす推古天皇までの33代について崩年を表2にまとめておく[2]。データが欠落しているところは空白にしている。神功皇后は天皇ではないが、記紀は例外的に天皇とほぼ同格にあついている。そこで表2にはとりあえず代位の欄を空白にして神功皇后を挿入している。

この表で、推古天皇から順に遡上していくと允恭天皇あたりまでは両書の崩年が誤差±10年以内でほぼ一致するが（安閑天皇以下はほぼ完全一致）、反正天皇以上になると崩年の差はどん

どん広がっていき、崇神天皇ではその差は350年近くまで拡大する。

表2 初期天皇の記紀崩年[2]

天皇諡号	代	古事記		日本書紀	
		崩年干支	西暦年	崩年干支	西暦年
神武天皇	1			丙子	BC585
綏靖天皇	2			壬子	BC549
安寧天皇	3			庚寅	BC511
懿徳天皇	4			甲子	BC477
孝昭天皇	5			戊子	BC393
孝安天皇	6			庚午	BC291
孝霊天皇	7			丙戌	BC215
孝元天皇	8			癸未	BC158
開化天皇	9			癸未	BC98
崇神天皇	10	戊寅	318	辛卯	BC30
垂仁天皇	11			庚午	70
景行天皇	12			庚午	130
成務天皇	13	乙卯	355	庚午	190
仲哀天皇	14	壬戌	362	庚辰	200
神功皇后				己丑	269
応神天皇	15	甲午	394	庚午	310
仁徳天皇	16	丁卯	427	己亥	399
履中天皇	17	壬申	432	乙巳	405
反正天皇	18	丁丑	437	庚戌	410
允恭天皇	19	甲午	454	癸巳	453
安康天皇	20			丙申	456
雄略天皇	21	己巳	489	己未	479
清寧天皇	22			甲子	484
顕宗天皇	23			丁卯	487
仁賢天皇	24			戊寅	498
武烈天皇	25			丙戌	506
継体天皇	26	丁未	527	辛亥	531
安閑天皇	27	乙卯	535	乙卯	535
宣化天皇	28			己未	539
欽明天皇	29			辛卯	571
敏達天皇	30	甲辰	584	乙巳	585
用明天皇	31	丁未	587	丁未	587
崇峻天皇	32	壬子	592	壬子	592
推古天皇	33	戊子	628	戊子	628

4. 崇神天皇の古事記崩年

表2によれば、崇神天皇は、古事記では4世紀の天皇であるが、日本書紀では紀元前の天皇ということになる。この点についていえば、日本書紀の編者が、讖緯説(しんいせつ)の導入による装古操作を行った結果だといわれてきた。

一方、古事記によれば、崇神天皇は168歳で崩御とある[4]。つづく垂仁天皇は153歳、景行天皇は137歳、成務天皇は95歳である。古事記が編年体で事跡を記述していないこともあって、じつは崩年が信用できる後代の天皇から遡上して崇神天皇の崩年干支戊寅年に対する西暦年を算定してみても、唯一に確定できない事情がある。ちなみに、戊寅年を西暦年に変換すると、60年周期でつぎのような西暦年の候補があがってくる。

・ ・ ・ ・ 198年、258年、318年、378年、438年 ・ ・ ・ ・

このため、近代の歴史家の判断として、戊寅年に対して表2のように西暦年318年をあてたものと理解している。しかし、古事記の編者は、本来崇神天皇の崩年を西暦年という318年よりはるか昔に想定していたはずである。たとえば、表2で成務天皇の古事記崩年を355年としているが、崇神天皇の曾孫である成務天皇が95歳で崩御したとすると崇神天皇の崩年318年には、すでに58歳だったことになる。

崇神天皇が崩御してから成務天皇が崩御するまでの期間は、表2の西暦崩年から計算すると37年間である。この“わずかな”期間内に、それぞれ153歳、137歳、95歳で崩御した垂仁、景行、成務天皇が、つぎつぎ即位し在位したことになる。すくなくとも、垂仁天皇と景行天皇は100歳を超えてから即位した計算になるだろう。

古事記の編者がこうした明らかな矛盾をつくりだすはずはない。表2における崇神天皇以下数代の天皇の古事記崩年（西暦年）は、やはり古事記が記載する崩年干支を近代の歴史観によって解釈した産物であって、古事記編者の意図とは明らかにちがっていることを認識しておく必要がある。すくなくとも日本書紀編者だけが装古操作を行ったのではないとおもう。

この辺の事情はさておくとして、允恭天皇あたりまで両書の崩年がほぼ一致するということは、このあたりまでは多少の誤差をゆるして崩年がほぼ信頼できるとみてよいだろう。問題はこれより以前の天皇の崩年をどう考えるか、という点にしばられる。

表2で、古事記から推定される崩年と日本書紀のそれを比較してみると、何人かの天皇の崩年が欠落してはいるものの、古事記崩年により妥当性があるようにみえる。事実、こう考えている研究者も多いとおもわれる。崇神天皇崩年を318年とする見解は、声高にはいわれないにしても考古学や古代史の世界の一部では静かに定着したものになっているのではないかとみている。たしかに西暦年318年は4世紀前半であり、関連する歴史事象や考古学的編年観などを総合するとある程度の妥当性を感じる人も多いとおもう。たしかに、古事記崩年は日本書紀崩年より数値として“まし”であるが、真値と断定するには根拠となる情報が絶対的に不足しているし、さきに指摘した明らかな矛盾を含んでいる。

## 5. 崩年モデルによる崇神天皇崩年の考察

筆者はすでに、天皇の崩年を系列としてみたとき、そこに一定の規則性があることに注目した崩年モデルを提示した[3]。すなわち、昭和天皇までの全天皇（公式には124代）の崩年データのうち、問題データを除外して得られる基礎データ系列にもっとも適合する崩年推定式を導出した。なお、天皇交替の事例をくわしくみていくと、重祚の例や退位の例も含まれているが、多数の場合を優先してすべて崩年データとよぶことにしている。

崩年モデルの詳細は拙稿[3]にゆずるが、基礎データ系列とは以下のように定義されたものである。表2に示す初期天皇の崩年データのうち、允恭天皇以前については古事記崩年を優先し欠落データを日本書紀によって埋めないこととした（欠落のままとする）。允恭天皇以降については日本書紀にしたがう。推古天皇以降については、明治時代に公式に定められた歴代天皇系譜にしたがった崩年を採用する。ただし、中世の院政時代に相当する20代の崩年データは問題データとして除外している。

さて、基礎データ系列全体にもっとも適合するように崩年モデルのパラメータを追求した結果、つぎの式に到達した。

$$D(n) = 1282 e^{0.0066n} - 1005 \quad (\text{崩年推定式})$$

これを崩年推定式とよぶ。天皇の代位  $n$  を崩年推定式に代入して計算すれば、ただちに崩年  $D(n)$  が求められる。注意してほしいのは、神功皇后をデータ系列に入れているため、神功皇后以前の天皇の場合は代位そのままを  $n$  として代入すればよいが、神功皇后以降、つまり応神天皇以降は代位に1を加えた数を  $n$  として用いる必要がある点である。拙稿[3]でくわしく述べているが、いくつかの不規則部分にあたる天皇の崩年については、当然ながらかなり値がずれる点も注

意してほしい。

選択した崩年データ全体に対して崩年推定式がどのようにフィットしているか、図1を見てほしい。図1には崩年推定式を図化した推定曲線を描いているが、データとよくフィットしていることが一見してわかる。適合率は図中にも記載しているが、0.998であって、ほとんど1に近い結果になった。

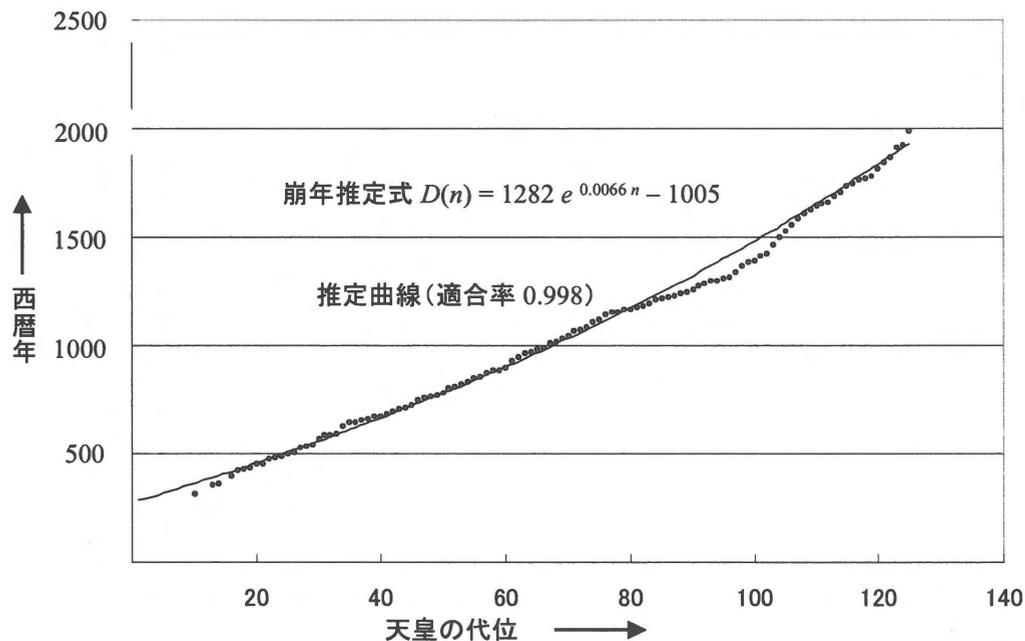


図1 崩年データと崩年推定式 (推定曲線)

天皇の崩年データを図1のように図化してみると、ある種の規則性があることをうかがわせるとともに、さきに触れた不規則な変動があることも見えてくる。崩年データから直接見てわかる単純な特徴は、全体としてなめらかに右肩上がりで年代値が増加していくことであろう。しかし、これは、いってみれば当然である。後の天皇の崩年が先帝の崩年より年代値が大きくなる（年代が新しくなる）のはあたり前だからである。問題は、その増加傾向に明確な規則性がみいだせるかどうかという点である。前出の崩年推定式は、崩年データに内在する規則性を数理的に明示したものと考えてよい。

さて、天皇の代位を代入することによって、崩年推定式はまさに機械的に崩年の数値を与えることになるわけだが、用語の混乱をさけるためこの数値を推定崩年とよぶことにする。推定崩年はあくまで推定の所産であり、真値そのものではない。ただし、まったく荒唐無稽な値ではなく、真値に十分近い値を与えるであろうことは期待できる。では、どのくらいのレベルで真値に近いのか、具体的に記紀データと比較してみよう。表3にその比較表をしめしている。表3は、さきにあげた表2にならって記紀がともにしるす推古天皇までの33代の古代天皇(神功皇后を加えて34人)について記紀崩年と推定崩年を比較している。

人の死は偶然であり、天皇の崩年についてももちろんその例外ではない。しかし、偶然の系列である歴代天皇の崩年をデータとして分析してみると、図1が端的にしめしている、驚くべき規則性が浮かび上がってきたのである。これはい

表3 記紀崩年と推定崩年

天皇諡号	記紀崩年	推定崩年	差
神武天皇		285	
綏靖天皇		294	
安寧天皇		303	
懿徳天皇		311	
孝昭天皇		320	
孝安天皇		329	
孝霊天皇		338	
孝元天皇		347	
開化天皇		355	
崇神天皇	318	364	46
垂仁天皇		374	
景行天皇		383	
成務天皇	355	392	37
仲哀天皇	362	401	39
神功皇后		410	
応神天皇	394	420	26
仁徳天皇	427	429	2
履中天皇	432	439	7
反正天皇	437	448	11
允恭天皇	454	458	4
安康天皇	456	468	12
雄略天皇	479	477	2
清寧天皇	484	487	3
顕宗天皇	487	497	10
仁賢天皇	498	507	9
武烈天皇	506	517	11
継体天皇	531	527	4
安閑天皇	535	537	2
宣化天皇	539	547	8
欽明天皇	571	558	13
敏達天皇	585	568	17
用明天皇	587	578	9
崇峻天皇	592	589	3
推古天皇	628	600	28

ったいなぜなのか、だれしも不思議におもうだろう。データ分析の作業中に強く感じるようになったことは、偶然の中に忍びこむ必然があるということだ。

考えてみると、天皇はやはり特別な存在である。王朝における最高権威であって、それがゆえに人としても特別に醸成された“空気”の中で生きてきた存在である。この空気には、文化的なものもあるだろうし、政治的なものもあるだろう。感情的なものもあるだろう。しかし、この空気こそ、一定の必然を帯びた空気として時代を超えて天皇をとり囲んできたのだ。

崩年モデルが“必然”をかなりの精度で検知できたということは、おそらく、ここでいう空気の一面をとらえることができたのであろう。

表3の比較表をみても、とくに崇神・成務・仲哀三天皇の古事記崩年と推定崩年との差が著しい。とくに崇神天皇の乖離が大きい。古事記崩年と推定崩年との間に46年もの差がある。この不一致をどう理解するかだが、どちらか一方を真値として他方をいきなり切り捨てるのではなく、両者の中間あたりに真値があると考えておくのが穏当であろう。

2つの史料が崇神天皇の崩年を数値としてあたえている。日本書紀崩年BC30年と古事

記崩年318年である(表2参照)。日本書紀崩年は論外とすると、数値としては古事記崩年318年が残る。すでに書いたように、干支から換算した古事記崩年はかなり問題を含んでいる。はっきりいえば、関連記事とは無関係に、崇神天皇の干支崩年(戊寅年)を近代の歴史観で318年と解釈しただけといってもよいだろう。

一方、表3の推定崩年364年は、允恭天皇以後の信頼できる多数の崩年データが反映した推定値である。安全のため、2つの数値の中間値をとって4世紀中頃を崇神天皇の崩年とみる見解を本稿は提案しているわけである。崇神天皇の崩年を“早くとも”4世紀中頃とみることは、史料の情報を総合した結果であって、まさに動かない定点とみてよいだろう。

崇神天皇が実在したことについては、大方の異論はないと考える。崇神天皇の墓についていえば、行燈山古墳とする宮内庁の治定あり、西殿塚古墳説あり、はたまた渋谷向山古墳説や箸墓古墳説もあるようだ。このうちのどの古墳が崇神陵であってもかまわない。筆者の形態研究でいえば、規模や形態において類似点が多い古墳ばかりであって、形態編年上大きな差異はない（表4参照）。

箸墓古墳を卑弥呼の墓とする説もあるようだが、そうだとすれば残る3つの古墳（どれかが「崇神陵」）との年代差が100年以上開くことになる。この説は、墳形の時間的変化の法則や規模の視点からみてかなりの違和感がある。まったく賛同しえない。

表4 畿内大型前方後円墳14基の墳形データ

古墳名	墳丘長(m)	後円部径(m)	くびれ部幅(m)	前方部幅(m)	相対墳丘長	相対くびれ部幅	相対前方部幅
箸墓古墳	280	161	64	132	1.74	0.40	0.82
崇神陵(行燈山古墳)	268	154	65	122	1.74	0.42	0.79
西殿塚古墳(倉田陵)	233	143	67	134	1.63	0.47	0.94
景行陵(渋谷向山古墳)	289	163	83	153	1.77	0.51	0.94
メスリ山古墳	231	127	56	77	1.82	0.44	0.64
桜井茶白山古墳	204	118	51	63	1.73	0.43	0.53
垂仁陵(宝来山古墳)	225	125	68	118	1.80	0.54	0.94
成務陵(佐紀石塚山古墳)	214	132	77	114	1.62	0.58	0.86
日葉酢媛陵(佐紀御陵山古墳)	205	128	69	88	1.60	0.54	0.69
神功陵(五社神古墳)	282	189	109	154	1.49	0.58	0.81
応神陵(菅田山古墳)	416	257	188	290	1.62	0.73	1.13
仁徳陵(大山古墳)	486	244	163	300	1.99	0.67	1.23
履中陵(石津丘古墳)	362	208	150	237	1.74	0.72	1.14
土師ニサンザイ古墳	288	160	110	226	1.80	0.69	1.41

## 6. むすび

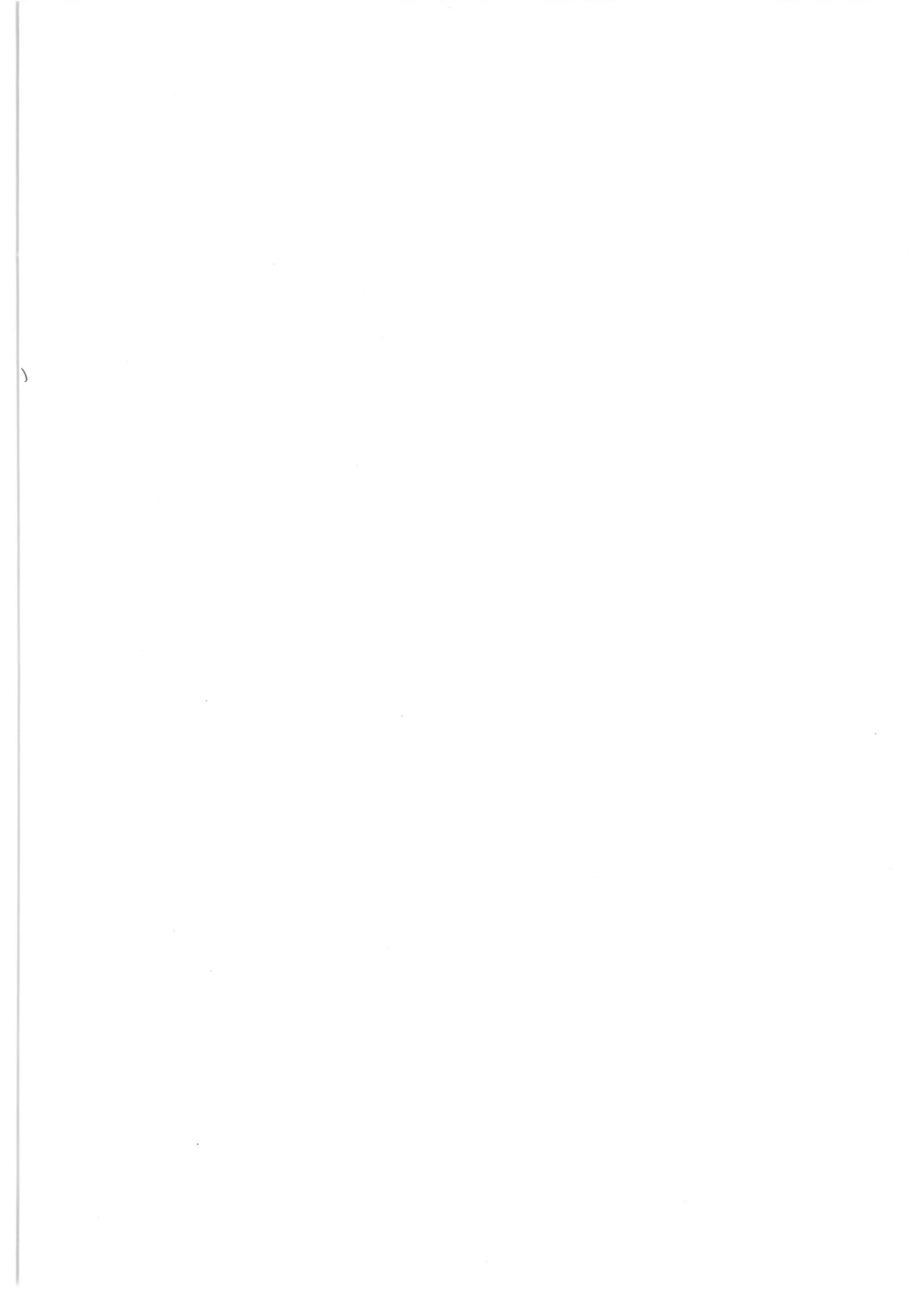
崇神天皇は、日本古代を解き明かす上で重要な役割をはたすキーパーソンである。本稿では、崇神天皇の崩年にかかわる問題を考察した。結論として、崇神天皇の崩年を“早くとも”4世紀中頃にみるべきであるとする見解を述べた。成務・仲哀二天皇の崩年についても同様な理解が必要と考えている。

根源的には、崇神・成務・仲哀三天皇の古事記崩年自体にやはり問題があると思うのがむしろ自然な思考法ではなかろうか。長寿であった推古天皇の崩年628年は真値であって、推定崩年は600年である。差は28年になる。このレベルの差は、推古天皇以後でもたまには現れる。しかし、崇神・成務・仲哀三天皇の場合の差はやはり大きすぎる。

はじめに書いたように、“年代”は歴史を考える上でもっとも重要な数値情報であるが、もっとも誤差の発生しやすい情報でもある。天皇の年代を適正に修正することができれば、記紀の史料の価値は一段と高まるであろうし、陵墓を仲介として前方後円墳の編年観も適正化されることになるだろう。

### 【参考文献】

- [1] 宇治谷孟, 『全現代語訳・日本書紀(上)』, 講談社学術文庫, 講談社, 東京, 1988.
- [2] 和田萃, 『大系・日本の歴史・2古墳の時代』, 小学館, 東京, 1987.
- [3] 小沢一雅, 「天皇崩年の数理モデル」, 『情報処理学会研究報告』, 2007-CH-75, 2007.
- [4] 次田真幸(全訳注), 『古事記(中)』, 講談社学術文庫, 講談社, 東京, 1980.



主催：第13回公開シンポジウム  
実行委員会

共催：奈良女子大学 21世紀COEプログラム『古代日本形成の特質解明の研究教育拠点』

協賛：情報処理学会関西支部

後援：人文系データベース協議会

委員長：出田和久（奈良女子大学）  
委員：石崎研二（奈良女子大学）  
川口 洋（帝塚山大学）  
加藤常員（大阪電気通信大学）  
小森政嗣（大阪電気通信大学）  
鈴木広光（奈良女子大学）

人文系データベース協議会

議長：小沢一雅（大阪電気通信大学）  
出田和久（奈良女子大学）  
上原邦昭（神戸大学）  
江澤義典（関西大学）  
及川昭文（総合研究大学院大学）  
雄山真弓（関西学院大学）  
加藤常員（大阪電気通信大学）  
川口 洋（帝塚山大学）  
柴山 守（大阪市立大学）  
高橋晴子（大阪樟蔭女子大学）  
都司達夫（福井大学）  
辻田忠弘（甲南大学）  
中谷広正（静岡大学）  
中村敏枝（大阪大学）  
八村広三郎（立命館大学）  
深海 悟（大阪工業大学）  
宝珍輝尚（京都工芸繊維大学）  
井出 明（近畿大学）

---

人文系データベース協議会 第13回公開シンポジウム「人文科学とデータベース」

---

発行日 2007年12月22日  
発行所 第13回公開シンポジウム実行委員会  
〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋西町  
奈良女子大学 文学部 出田和久（シンポジウム事務局）  
Email: ideta@cc.nara-wu.ac.jp  
印刷所 新踏社 〒630-8264 奈良県奈良市鍋屋町19 Tel: 0742-23-5055