

◆特集＊招待論文◆

# 感性や意味を計量する データベースシステム

人間と情報システムの記憶系について

A Database System for “*Kansei* and Semantic Computing”  
Memory Functions of Humans and Information Systems

清木 康

慶應義塾大学環境情報学部教授

Yasushi Kiyoki

Professor, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

データベース、知識ベース研究の主要な対象は、グローバルに繋がれた多様なマルチメディア情報源、知識源を対象とし、それらの分析を伴った検索、統合による新たな情報、知識の獲得や生成を行う記憶系の実現である。本稿では、データ間の意味的、感性的な等価性、類似性、関連性を“状況や文脈”に応じて動的に計算する計量モデルとして提案した“意味の数学モデル (MMM)”の概要を示し、そのモデルを基礎として実現した応用システムを示す。

“意味の数学モデル”は、文脈依存の意味的連想記憶モデルであり、その発想の原点は、辞書のような言葉の意味を記述した“人類の知識や英知が集約された集合”を用いた“意味空間の形成”という概念にある。我々は、基本英単語約 2000 語による約 2000 次元の意味空間（意味を計算する空間）を構築することにより、実にさまざまな文脈（原理的には $2^{2000}$ の文脈）を内包し、また、記憶想起する記憶系を構築した。その意味空間上に、言葉や画像、音楽といったオブジェクトを配置し、その空間上での距離計算による画像、音楽などのメディアデータの記憶想起系を実現した。このモデルの環境情報分析への応用として、地球規模での社会、自然環境を対象としたグローバル環境システムである“5D WORLD MAP システム”の構成を示す。5D World Map は、3次元の地理的空間軸、1次元の時間軸、および、多次元の意味空間軸上に配置される自然環境、社会環境事象を5次元空間（3次元地理的空間軸、1次元時間軸、1次元に縮退した意味空間軸）の世界地図上に写像し、自然環境、社会環境の事象の状況、および変化を検索、共有、分析するシステムである。

In the multimedia system design and implementation, one of the most important issues is how to search and analyze media data (images, music, movies and documents), according to user's impressions and contexts. We have proposed “the Mathematical Model of Meaning (MMM)” and its application to “*Kansei*” and semantic associative search. The concept of “*Kansei*” includes several meanings on sensitive recognition, such as “emotion”, “impression”, “human senses”, “feelings”, “sensitivity”, “psychological reaction” and “physiological reaction.” This model realizes “*Kansei*” processing and semantic associative search for media data, according to user's impressions and contexts, and is applied to compute semantic correlations between keywords, images, music, movies and documents dynamically in a context-dependent way. The main feature of MMM is to realize semantic associative search in the 2000 dimensional orthogonal semantic space with semantic projection functions. This space is created for dynamically computing semantic equivalence or similarity between keywords and media data.

As a global environmental system, we have also designed “5 Dimensional World Map System,” as a multimedia semantic computing system for global environmental analysis. One of the important applications of this system is “Global Environment-Analysis,” which aims to evaluate various influences caused by natural disasters in global environments. Our experimental results have shown the feasibility and effectiveness of our semantic associative computing system based on “MMM” in global environmental analysis.

Keywords: 意味的連想検索、データベースシステム、知識ベース、マルチメディアシステム

## 1 はじめに

近年のデータベース、知識ベースシステム研究の主要な対象は、グローバルに繋がれた多様なマルチメディア情報源、知識源を連結し、それらを対象とした共有、検索、統合、分析、配信による情報、知識の記憶系の実現である。現在、記憶系を適用する基本的な対象として、(1) 時空間コンピューティングシステム (Spatio-Temporal Computing System)、(2) マルチメディアシステム、(3) ビッグデータ分析 (Big Data Analysis)、(4) ソーシャル・コンピューティング、(5) 環境分析システム、(6) ユビキタス・コンピューティング、(7) クロスカルチュール・コンピューティングなどがあり、それらを応用したシステムの構築が活発である。これらの機能は、メディア・データを対象とした新たな記憶蓄積、共有、統合、想起、配信環境を実現する本質的な機能であり、社会やコミュニティが情報および知識を生成、伝達、発信するための新しい多くの応用を開拓するベースとなるものとして期待されている。

情報化社会におけるメディア・データ(画像、音楽、動画、文書など)の創造や利用の拡大は、我々の情報共有・獲得の環境を劇的に変化させている。それらのメディア・データを共有・検索・統合する記憶系であるデータベース、知識ベースは、情報化社会を支える最も主要な要素として重要である。メディア・データの供給の多様化・大規模化に伴って、それらを対象とした新たな記憶系の構築が期待されている。また、映像、メディアアートなど、芸術の分野とデータベースの新たな融合についても、新しい方法論を開拓していくことが重要である。

このような背景の中で、2011年度より、SFC政策・メディア研究科と理工学研究科の連携により、地球規模での社会、自然環境を対象としたグローバル環境システムの探求とそのリーダーを育成する大学院コースとして、GESLプログラム(<http://gesl.sfc.keio.ac.jp/>)がスタートした。本プログラムは、世界を牽引するリーダーを養成する世界レベルの大学院教育拠点の形成を目指し、“グローバル環境システム”大学院教育拠点の国際展開力として、国際的な高水準大学・研究機関、および、環

境問題を抱える地域の国際的・大学・研究機関との国際産・学・NPO連携研究指導体制を確立し、グローバル環境システム構築の国際的なリーダーとなる人材を育成する。そのために必要となる意識、知識および創造的スキルを育む価値生成プロセスを構築し、そのプロセスを社会へ広く伝搬する。本プログラムは、多様な側面を有する環境問題に対して、科学技術基盤と社会ルール立案基盤を有し、国際社会を先導できる人材を、政策・メディア研究科、理工学研究科、国際研究機関が協力してグローバル環境システムリーダーとして育成し、国際社会への貢献を目指す。

我々の研究は、このようなグローバル環境システムにおいても中心的な機能群となるマルチメディアデータベース、知識ベースを対象とした“マルチメディア・システム記憶系”の実現を目指すものであり、その主要な機能として、(1) メディア・データを有する情報源への高機能アクセス、検索、統合機能、(2) メディア・データの自動解析、自動分析によるメタデータ自動生成機能、(3) 異種メディアデータの統合による知識表現機能、(4) 融合されたメディアデータの動的配信機能、(5) 画像、音楽メディアデータによる感性的装飾機能の実現を行っている (<http://www.mdbl.sfc.keio.ac.jp/>)。本研究では、“マルチメディア・データベースシステム研究”および、“マルチメディア感性装飾システム研究”を主要テーマとして、次のような多様なデータベース、知識ベースシステムに関する研究活動を行ってきた。画像感性データベース、音楽感性データベース、映像メディアデータベース、音楽・画像感性装飾データベース、アクティブ・マルチメディアデータベースシステム、CROSS-CULTURAL MULTIMEDIA DATABASE (FINLAND TUT, Thailand NECTEC)、時空間メタデータ自動生成システム、時空間DBによるユビキタス情報発見システム、教育用DB構築研究-インドネシア・データベース教材作成プロジェクト(インドネシア、ITS/EEPIS スラバヤ工科大学)、世界的時事5D(5次元)マップデータベース、ダイナミック装飾メディアデータベース、WWW情報内容表現



えてみた。そして、データ間の意味的、感性的な同一性、類似性、関連性は、静的な関係によって決定されるのではなく、文脈や状況に応じて動的に変化するものと考え、データ間の意味的、感性的な等価性、類似性、関連性を“状況や文脈”に応じて動的に計算する計量モデルとして、“意味の数学モデル”を考案し、1993年に最初の論文を発表し、今に続く研究のベースとなっている<sup>[1],[2],[3]</sup>。“意味の数学モデル”の概念を図2に示す。

このモデルは文脈依存の意味的連想記憶モデルであり、その発想の原点は、辞書のような言葉の意味を記述した“人類の知識や英知が集約された集合”を用いた“意味空間の形成”という概念にある。“Longman Dictionary of Contemporary English”という英英辞書では、約2000語の基本英単語だけを用いて、約56000語の全ての事象（英単語）の意味を説明している。我々は、基本英単語約2000語による約2000次元の意味空間（意味を計算する空間）を構築することにより、実にさまざまな文脈（原理的には $2^{2000}$ の文脈）を記述でき、また、記憶想起できるはずであり、この考えをもとに、“意味”や“感性”を計算する記憶系を構築できるのではないかと考えた。

そして、その意味空間を構築し、その上に言葉や画像、音楽といったオブジェクトを配置した。この空間の様子は、直観的には、星が散りばめられている宇宙空間をイメージすると分かり易い。その空間上で2つのオブジェクト（2つの星）を指定するとそれらの間の距離を計算できる。このモデルでは、文脈に対応した部分空間を2000次元の意味空間の中から選び（部分空間選択による文脈の解釈、原理的には $2^{2000}$ の部分空間（文脈の解釈）が存在）、さらに、その部分空間の中での距離によって関係性を判断して関連する情報を記憶想起することができる。言葉以外に、絵画や音楽、映像などについても、今までは得られなかった関係性を約2000次元の意味空間の距離計算によって求めることが可能になる。

ここでは、例として、絵画の意味的記憶想起について考えてみる。葛飾北斎の浮世絵は実にさまざま

であるが、その中で“力強い”“豪快な”北斎の浮世絵を見つけ出してほしいといわれると難しい。“意味の数学モデル”は、そのような“感性”や“意味”を対象とした記憶想起を可能にする。

絵画や音楽などのマルチメディアデータをシステムが記憶想起（検索）する場合、画像ならば印象や色彩など、音楽ならば印象、和音、調性など、感性的な特徴から連想される画像や音楽を見つけ出さなければならない。人間は、そのような記憶想起を大変得意としているが、システムが感性による記憶想起を行うためには、どうすればよいのだろうか。このシステムは、情報システムの利用者が「悲しい」「明るい」「幸福な」などの感性を表わすキーワードを発行すると、その意味を解釈して、それらと意味的、感性的に関連の強いメディアデータ（絵画や音楽）を動的に選択する。利用者は、システムの記憶内に、どのような画像や音楽が蓄積され、それらがどのような表現であるか意識することなく、自分の好きな言葉で検索することが可能となる。

「ある概念とある概念の間の近さ」「物と物の間の意味的な近さ」「言葉と言葉の関係」「言葉とメディアデータの関係」「メディアデータとメディアデータの関係（例えば、絵画と音楽の感性的類似性）」は、文脈によって動的に決定される。我々は、2つの概念（オブジェクト）の間にはほぼ無限の関係があり、その2つの関係が決まるのは文脈が与えられた時だけであると考え、文脈の計量を伴って、2つの概念（オブジェクト間）の関係を意味空間（多次元ベクトル空間）上の距離として計算する仕組みを構築した。

例えば、この意味空間の中に、「悲しく」「暗い」感じの絵画がほしいという「文脈」を与えると、「悲しい」と「暗い」という文脈から、その文脈に対応した部分空間を意味空間の中から選び、さらに、その部分空間の中で相関の近い順に絵画を並べることができる。文脈に対応する部分空間を選ぶことを文脈理解の機能として実現している。その部分空間上において一番相関の強いものを選べば、与えられた文脈に一番印象の近い絵画や音楽を記憶想起できる。対象とするメディア情報は、絵画

でも音楽でも映像でも可能であり、言葉から絵画を選んだり、絵画から音楽を選んだりすることもできる。この意味的、感性的記憶系の本質は、意味空間の中に、多様な言葉、画像、音楽を散りばめておき、それらの間の関係について、文脈に応じて部分空間を選択し、その部分空間において、2つの概念の距離を計算する仕組みを使って計量することによって意味的、感性的な記憶想起を実現する点にあり、この機能は、人間の記憶系のものと近いのではないかと考えている。

Overview of MMM (Mathematical Model of Meaning)

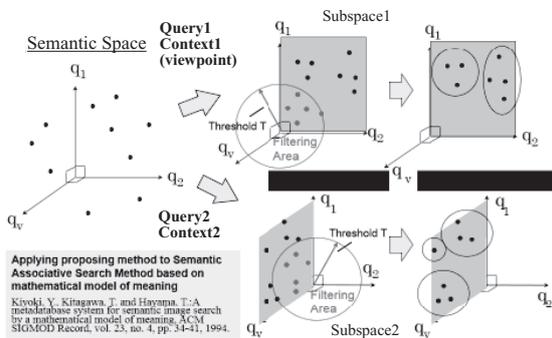


図2 “意味の数学モデル (MMM)” による 2000 次元の意味空間とその意味的連想記憶系

3 “意味の数学モデル”：感性や意味の計量による記憶系の応用

意味的、感性的計量機能をもつ”意味の数学モデル”は、異種メディア間の感性的な統合、あるいは、方法論の間の境界を超えて、それぞれの学術分野が有する知識の統合/集約と共有の実現の可能性を拡大する (図3、4)。本モデルの基本は、対象分野の意味空間を形成し、その空間上に記憶蓄積、想起の対象となる言葉やメディアデータ (画像、動画、文書) を写像し、さらに、部分空間選択により文脈を計量し、その部分空間において、言葉と言葉、言葉とメディアデータ、メディアデータ間の距離を計量することにより、文脈解釈を伴った意味的な記憶想起を実現することである。このモデルを対象によって構築した代表的な応用システムとして、(1) 英英辞書を用いた 2000 次元意味空間上での “多言語対応画像・感性検索システム”、(2) 415 次元の環境意

味空間と 436 次元の医学意味空間の “統合意味空間”、(3) 画像を対象とした 130 次元の “色彩意味空間形成” と画像分析による自然環境分析システム、(4) 130 次元の色彩意味空間による “クロスカルチャー・コミュニケーションシステム (異文化コミュニケーション・システム)”、(5) 意味空間に加えて物理空間として 3 次元地理軸と時間軸を加えた多次元空間を形成し、世界規模での知識蓄積、共有、検索、統合、分析、可視化を実現する “5D WORLD MAP システム” について、それらの概要を示す。

3.1 多言語対応画像・感性検索システム

図3に示すように、画像・感性検索の対象とする印象語群の英単語とそれに対応する多言語の単語の対応を知識として設定すると、それらの単語を 2000 次元の意味空間へ写像することが可能になる。このシステムは、この対応関係によって、意味空間に写像された画像群とこれらの多言語の単語との間で、意味的連想記憶系での距離計算により意味的な近さを計量し、近い距離の順に画像あるいは単語をランキングすることにより、記憶想起系を実現する。そのシステムの構成を図4に示す。ここでは、メタレベル・システム (Meta-level System) に”意味の数学モデル (MMM)” システムを設定し、異文化の画像、多言語をその意味空間上に写像し、そこでの距離計算により、多言語対応画像・感性検索を実現する<sup>[9]</sup>。

Cross-cultural Communication with “Kansei” information

English	Finnish	Japanese	Chinese	Thai
Silent	ääneton	静かな	靜的	เงียบ
Quiet	hiljainen	静かな	靜的	เงียบสงบ
Calm	tyyni	穏やかな	安靜的	ใจเย็น
Powerful	voimakas	力強い	強壯的	มีพลัง
Pleasant	miellyttävä	楽しい	令人愉快的	น่ายินดี
Sad	surullinen	悲しい	悲哀的	เสียใจ
Dark	tumma	暗い	暗的	มืด
Dynamic	dynaaminen	ダイナミックな	動態的	มีพลัง
Strong	vahva	強い	強大的	แข็งแรงแรง
Light	valoisa	軽い	光	สว่าง
Brave	rohkea	勇敢な	勇敢	กล้าหาญ
Cloudy	pilvinen	混雑した	多雲	ครึ้ม
Exciting	jännittävä	興奮した	令人興奮的	ตื่นเต้น

図3 “多言語対応画像・感性検索システム” の構成

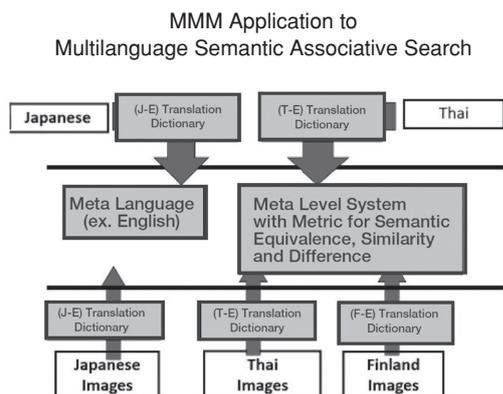


図4 “意味の数学モデル”による“多言語対応画像・感性検索システム”の構成

### 3.2 異分野の意味空間統合による統合意味空間の構築 [3],[5],[6]

統合意味空間の構築では、第1プロセスとして、“意味の数学モデル”を469環境主要語(キーワード)と425特徴属性語により、425次元の環境意味空間、690医学主要語(キーワード)と437特徴属性語により、437次元の医学意味空間を構築する。これらの空間は、環境分野、医学分野を対象とする異なる空間であるが、それらの間には共通するキーワードや特徴属性が存在する。そこで、第2プロセスとして、それらの共通部分については共通キーワード、共通特徴属性として統合(統一化)し、異なる部分については独立なキーワード、独立特徴属性として表現し、環境空間と医学空間の統合意味空間を構築する。この方法により、図5に示すように、環境空間と医学空間による異分野横断・統合意味空間の構築を実現する。この統合空間の構成により、環境分野のキーワードに関連する医療情報源の獲得、医療分野のキーワードに関連する環境情報源の獲得が可能になり、それら異分野知識の記憶想起を他分野の知識からアプローチ可能になる。この方法の他の重要な応用として、図6に示すように、音楽の感性・意味空間と画像の感性・意味空間の統合空間の構築により、音楽の印象に合致する画像の記憶想起系、あるいは、画像の印象に合致する音楽の記憶想起系を実現することができる。

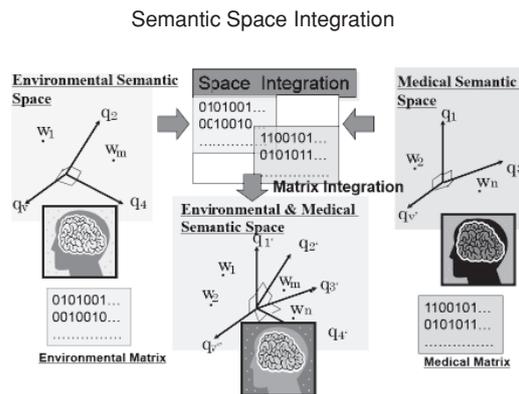


図5 環境空間と医療空間の統合による異分野横断・意味空間の構築

### Music decoration with images by automatic decorative-multimedia creation

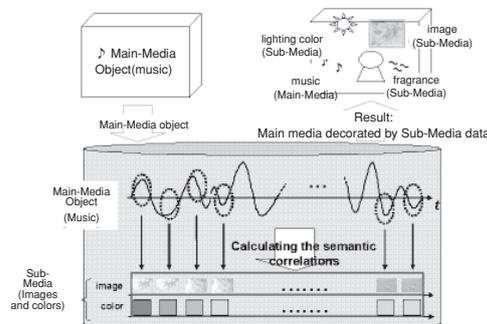


図6 “意味の数学モデル”による“感性・音楽・画像鑑賞システム”の構成

### 3.3 画像を対象とした130次元の“色彩意味空間形成”と画像分析による自然環境分析システム

130色の色彩により約130次元の色彩意味空間を形成し、画像および言葉を130色の色彩によって表現することにより、画像間や画像と言葉の意味的距離を計量するシステムを構築した。このシステム上に、自然災害の兆候や現象を表す画像を写像し、実世界を表す映像を画像列として写像し、実世界における環境変化や異常を検知、分析する自然環境分析システムを実現した。図7に示すように、このシステムは、ビデオカメラによる実世界映像のセンシング(sensing)、その画像を対象とした色彩意味空間での距離計算による環境変化や異常の検知(processing)、変化や異常検知時の警告情報配信と可視化(analysis and actuation)からなる“SPAプロ

セス”として実現している。

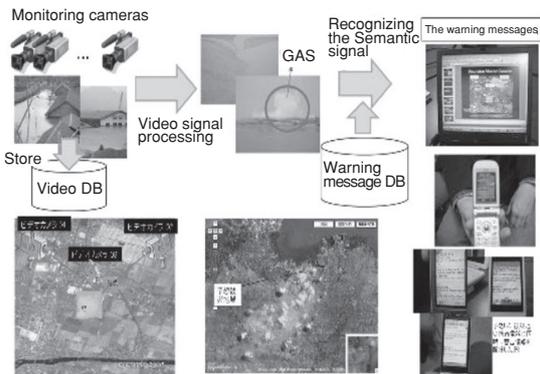


図7 色彩意味空間上での画像分析による自然環境分析システムのSPAプロセス

### 3.4 130次元色彩意味空間による“クロスカルチャー・コミュニケーションシステム（異文化コミュニケーション・システム）”<sup>[5],[7]</sup>

異文化間での感性と画像による異分野理解のための異文化コミュニケーション・システムとして、KEIO SFC MDBL と Tampere University of Technology(Finland) との間で3D Cyber Space Museum (図8)を構築し、図9に示す130次元色彩意味空間上に、フィンランドと日本の文化を表す画像を配置し、それらの画像および印象を表す言葉を配置し、双方の文化を画像と印象語だけを用いて表す異文化コミュニケーション・システムを構築した。その後、このシステムは、タイのNECTEC 研究所における Digitized Thailand Project において採用され、タイの伝統絵画を鑑賞し、文化を表すシステムとして利用されている。

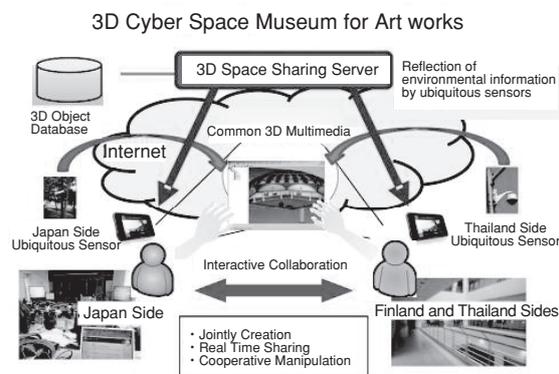


図8 “3D Cross-Cultural Communication System”の構成

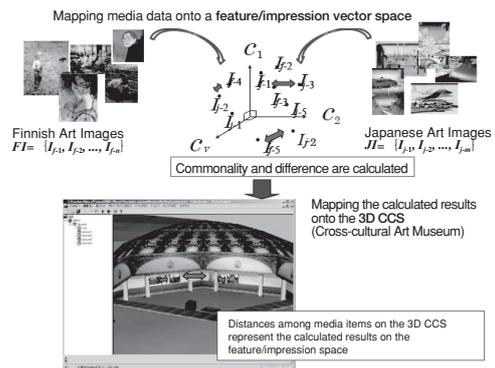


図9 3D Cross-Cultural Image Museum System

### 3.5 意味空間と物理空間を連結する5D WORLD MAP システム<sup>[4],[8]</sup>

5D WORLD MAP は、図10に示すように、“意味の数学モデル”による“多次元意味空間”に加えて、物理空間として“3次元地理軸”と“1次元時間軸”を加えた多次元空間を形成し、世界規模での知識蓄積、共有、検索、統合、分析、可視化を実現するシステムである。世界中で発生する各事象(環境変化、災害、紛争、事件など)について、その意味的、時間的、地理的な内容、特徴を“多次元意味空間”“3次元地理軸”と“1次元時間軸”に写像し、意味、地理、時間によって表現される文脈に応じて、それに対応する部分空間を選択し、その部分空間上での距離計算により記憶想起を行い、その結果を、その文脈に対応する時間と地理を表す世界地図上に可視化するシステムである。図11は、“森林火災”についての分析を行う場合を示している。この分析では、5D WORLD MAPに“森林火災”の画像が入力されると、システムは、130次元色彩意味空間を適用して、入力画像に関連の深い画像群を想起し、それらの画像について、それぞれが対応する時間と地理的位置に写像し、“森林火災”についての広域での事象を可視化する。本システムは、様々な時代の歴史地図の配置を行い、事象が発生した時点(その時代)の世界地図によって、事象の関連事象を可視化することにより、大局的な俯瞰、分析環境を実現する。現在、本システムを“グローバル環境システム”のプロジェクトにおいて、環境分野の知識蓄積、共有、

検索、統合、分析、可視化のプラットフォームのシステムとして活用している。

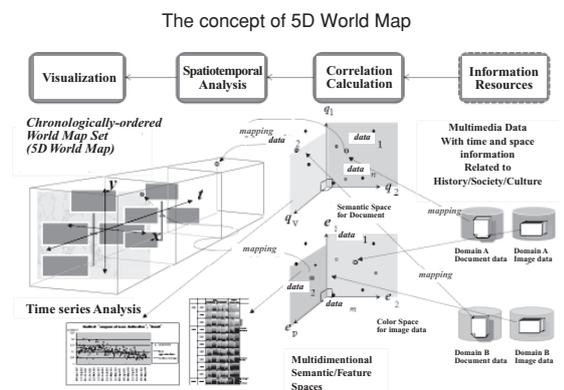


図10 5次元 WORLD MAP (5D WORLD MAP) システム

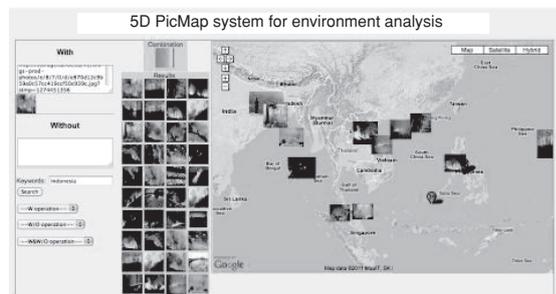


図11 5次元 WORLD MAP (5D WORLD MAP) システムによる森林火災の分析

#### 4 おわりに

意味的、感性的計量機能をもつ“意味の数学モデル”は、異種メディア間の感性的な統合、あるいは、方法論の間の境界を超えて、それぞれの学術分野が有する知識の統合/集約と共有の実現の可能性を拡大する。意味や感性を計算する記憶系の実現に向けて、極めて重要で本質的な機能群を強化し、記憶系システムとしての体系化を探っていくことが重要である。

我々は、今後も“マルチメディア・データベースシステム研究”、“マルチメディア感性装飾システム研究”において、映像、音楽、画像、行動情報、移動情報などの多様なメディアデータを対象とし、意味、感性、時間、空間といった高度な連想機能を有する新しいマルチメディアデータベース、知識ベースおよびシステム的设计・構築とグローバル環境シ

ステムへの応用を探究していく。

#### 参考文献

- [1] Kiyoki, Y. Kitagawa, T. and Hayama, T., “A metadatabase system for semantic image search by a mathematical model of meaning”, *ACM SIGMOD Record*, vol. 23, no. 4, 1994, pp.34-41.
- [2] Kiyoki, Y. Kitagawa, T. and Hayama, T., *A Metadatabase system for semantic image search by a mathematical model of meaning*, *Multimedia Data Management -- using metadata to integrate and apply digital media--*, A. Sheth and W. Klas(editors), Chapter 7, McGrawHill(book), 1998.
- [3] Kiyoki, Y. and Ishihara, S., *A Semantic Search Space Integration Method for Meta-level Knowledge Acquisition from Heterogeneous Databases*, *Information Modeling and Knowledge Bases*, IOS Press, Vol. 14, May 2002, pp.86-103.
- [4] Kiyoki, Y., Sasaki, S., Nhung Nguyen Trang, Nguyen Thi Ngoc Diep, “Cross-cultural Multimedia Computing with Impression-based Semantic Spaces”, *Conceptual Modelling and Its Theoretical Foundations*, Lecture Notes in Computer Science, Springer, March 2012, pp.316-328.
- [5] Kiyoki, Y., “A “Kansei” Multimedia Computing System for Environmental Analysis and Cross-Cultural Communication,” *keynote speech, 7th IEEE International Conference on Semantic Computing*, Sept. 2013.
- [6] Kiyoki, Y. and Chen, X., “A Semantic Associative Computation Method for Automatic Decorative Multimedia Creation with "Kansei" Information”, *Invited paper, The Sixth Asia-Pacific Conference on Conceptual Modelling (APCCM 2009)*, 9 pages, Jan. 2009.
- [7] Trang, N. N., Sasaki, S. and Kiyoki, Y., “A Cross-Cultural Music Museum System with Impression-based Analyzing Functions,” *Proceedings of IADIS e-Society 2011 Conference*, Avila, Spain, 8 pages, March 2011.
- [8] Sasaki, S., Takahashi, Y. Y., Kiyoki, Y., “The 4D World Map System with Semantic and Spatiotemporal Analyzers,” *Information Modelling and Knowledge Bases, Vol.XXI*, IOS Press, 18 pages, 2010.
- [9] Suhardijanto, T., Kiyoki, Y., Ali Ridho Barakbah, “A Term-based Cross-Cultural Computing System for Cultural Semantics Analysis with Phonological-Semantic Vector Spaces,” *Information Modelling and Knowledge Bases XXIII*, IOS Press, 2012, pp.20-38.
- [10] Research papers related to “The Mathematical Model of Meaning: MMM”.  
<http://www.mdbl.sfc.keio.ac.jp/~kiyoki/kiyoki-kansei-0.pdf>  
<http://www.mdbl.sfc.keio.ac.jp/~kiyoki/kiyoki-kansei-1.pdf>  
<http://www.mdbl.sfc.keio.ac.jp/~kiyoki/kiyoki-kansei-2.pdf>  
<http://www.mdbl.sfc.keio.ac.jp/~kiyoki/kiyoki-kansei-3.pdf>  
<http://www.mdbl.sfc.keio.ac.jp/~kiyoki/kiyoki-kansei-4.pdf>

[受付日 2013. 10. 15]