

## 5D World Map Systemのマルチパラメータ・センシングデータ分析・可視化機能とそのグローバル環境分析への応用

著者	佐々木 史織, 清木 康
雑誌名	武蔵野大学アジアAI研究所紀要
号	2
ページ	33-50
発行年	2022-03-22
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1419/00001745/">http://id.nii.ac.jp/1419/00001745/</a>

[論文]

## 5D World Map System のマルチパラメータ・センシングデータ分析・ 可視化機能とそのグローバル環境分析への応用

### Analytical Visualization of Multiparameter Sensing Data for 5D World Map System and Its Application for Global Environmental Analysis

佐々木 史織, 清木 康

#### 概要

本稿では、5D World Map System と呼ばれる協調的知識創造システムのための、マルチパラメータ・センサーデータやマルチスペクトル画像を含む多次元センシングデータを分析・可視化する方法および機能と、その学際的環境研究教育分野における応用について述べる。5D World Map System の主な特徴は、多面的な内容を含むメディアデータを対象として、利用者の興味・関心・視点と時空間情報の組み合わせに応じて、動的に時空間的および意味的相関計算を行い、多種多様な事象についてのストーリー（解釈）を生成可能とする点にある。さらに、フィジカル空間上のセンシングデータをサイバー空間上のマルチメディアと共に多層的・総合的に解析するための協働研究プラットフォームとして機能する点にもある。本稿では、具体的な(1)水質、大気質、土壌質などのマルチパラメータ・センサーデータ、および(2) UAV 付属の環境モニタリング用カメラにより取得されるマルチスペクトルおよび RGB 画像データを対象として、「グローバル環境ランキング関数」を設定することにより、数値データを言葉に変換し、各地の環境状況や環境に与える影響を意味としてランキングする方法を示す。これらの機能を用いることで、遠隔地にいる複数ユーザが世界中の複数地点から取得したリアルタイムのセンシングデータを共有し、選択した世界標準によってランク付けし、異常現象または急激な環境変化を検知し、その結果を時系列地図上に可視化、または、端末機器へ自動送信することができるようになる。本分析・可視化機能の特徴は、(1) 数値的な環境質レベルを、非専門家や一般の人々でも理解できる文章または単語のセットによって定性的な影響/意味に変換し、(2) 世界中の複数地点のローカルな環境センシングデータを時系列世界地図上でグローバルに比較分析できる点にある。

## 1. はじめに

現在、データサイエンスは国連の SDGs（持続可能な開発目標）達成のための社会実装支援過程に活用されつつある。17 の目標と 169 項目のターゲットの 2030 年までの実現に向けて、Evidence-based Policy Making というコンセプトのもと、効果的な政策の策定や優先順位の判断、施行された政策の評価などにデータサイエンスが活用されようとしている。これまで識者や専門家の暗黙知に基づいてなされていた意思決定の過程や評価基準の設定が、データサイエンスを駆使することにより、エビデンスに基づいて策定され、その政策効果についても評価される状況にある。

本稿では、協働的知識生成・共有・発信システムである 5D World Map System[1][2][3][24]における、マルチパラメータ・センシングデータの分析・可視化機能、および、その学際的グローバル環境研究・教育への応用について紹介する。

これまで環境工学の分野においては、環境測定によって得られたセンサーデータを対象として、様々な分析手法および環境モデリングが精力的に研究されている。環境工学の分野では緻密かつ徹底したケーススタディが行われているものの、その分析結果の多くはローカルに偏在しており、世界規模で集約されていないものが多い。一方、情報通信技術の分野では、高度な地理情報システム (GIS) やマルチメディア共有システムが提案され、幅広い知識をグローバルに統合・共有するための応用が実装されている。

5D World Map System [1][2][3][24]は、多種のマルチメディアデータ（文書・画像・動画・音声・統計・地理データ等）を分析・共有・可視化するための諸機能を有する協調的知識共有システムであり、自然・社会環境観測・分析・可視化・知識共有を実現する 5次元世界地図システムである。本システムは、自然・社会環境関連マルチメディアデータと各種環境センシングデータをリアルタイムかつ総合的・多層的に時間軸を伴った多次元地図上にマッピングし、データ間の時空間的関連性計量、多地点間差分計量、時間的変化量計量による自動異常探知を実現することにより、グローバル社会における各国・地域・都市の差異・類似性の比較分析を可能とする多元的情報分析システムを実現するものである。その応用範囲は、人文社会科学[2] [12] [13] [14]、異文化コンピューティング[9] [11]、および環境分析[10] [15][16][17]に及ぶ。特に環境分析の場合、本システムの有効性は、リアルタイムセンシングデータの分析機能と知識共有機能にあると言える[3]。

本稿では、5D World Map System のマルチメディア共有・可視化機能およびリアルタイムセンシングデータ分析機能の組み合わせにより、グローバル環境分析と協調的知識創造の学際的研究教育活動に活用する方法を紹介する。具体的な対象データは、(1) 水質、大気質、土壌質などのマルチパラメータ・センサーデータ、および (2) UAV 付属の環境モニタリング用カメラにより取得されるマルチスペクトルおよび RGB 画像データである。これらデータを対象として、「グローバル環境ランキング関数」を設定することにより、数値データを言葉に変換し、各地の環境状況や環境に与える影響を意味としてランキングする方式と機能を示す。この機能を用いることで、複数のリモートユーザが世界中の複数地点から取得したリアルタイムのセンシ

グデータを対象として、選択した世界標準によってランク付けし、異常現象または急激な環境変化を検知し、その結果を時系列地図上に表示、または、端末機器へ自動送信することができるようになる。

本研究の第一の目的は、サイバーフィジカルシステム (CPS) [6][7][8]のセンシング-処理-アクチュエーション (SPA) のフレームワークに基づいて、センシングデータの分析結果を 5D World Map System に統合することである。CPS の研究分野では、SPA フレームワークは次のように定義されている。

“a scientific and engineering CPS discipline should advance the conceptualization and realization of future societal-scale systems characterized by: (a) deep integration and pervasiveness of real-time processing, sensing, and actuation across logical and physical heterogeneous domains; and (b) systematic analysis of the interactions between engineering structures, information processing, humans and the physical world.”[8]

5D World Map System は、この SPA フレームワークに基づき、環境センシング、環境分析、環境可視化機能を統合し、環境現象を物理空間(実空間)内の実データ資源として検出し(Sensing)、情報空間にマッピングし、AI 機能として解析的・意味論的コンピューティングを行い (Processing)、因果関係および影響について計算された結果を視覚化表現と共に実空間社会に発信・提供する (Actuation) 機能を実現している。具体的には、センシングデータのリアルタイム分析を実現するため、複数のリモートユーザが世界中の複数地点から取得したリアルタイムのセンシングデータをシステム上で選択した計算方法によって分析的可視化を実行し、異常現象を発見・検出し、時系列地図上に可視化し、分析結果をユーザの端末へアラートとして送信する。

本研究の第二の目的は、センシングデータの分析に「セマンティック・コンピューティング」[1][4][5]の概念を適用することにより、共同環境研究のための新しい多次元データ分析および知識共有システムを実現することにある。5D World Map System の分析的可視化機能に「セマンティック・コンピューティング」を適用することにより、「自然環境を変化させる重要な要素が強調表示」され、強調表示された重要要素は、「自然環境の変化として多次元世界地図上で歴史的・地理的な視点から可視化される」 [1] こととなる。

環境分析者は、5D World Map System の SPA 機能を活用することにより、ローカル環境状況の獲得と、それらの世界規模での統合・分析、および、可視化による新たな国際協働型の環境観測・分析・可視化・知識共有が可能となる。

## 2. Overview of 5D World Map System

5D World Map System [1][2][3][24]は、自然環境に関する多様なマルチメディアデータ (環境専門家・コミュニティベースのユーザが投稿・集約する画像・動画・音声・文書群) 群、および、各種環境センシングデータ (水質、土壌質、温湿度、照度、大気、空中・水中 UAV/UUV による動画・マルチスペクトル画像等 UV/IR/TIR 画像等) を対象として、各データ間の意味的・時

空間的関連性、多地点間差分、時間的変化量についてリアルタイムに計量・分析し、その変化量・差異・類似性に関する分析結果（1次元に縮約された意味の次元）について、時間軸を伴った世界地図（4次元）上に可視化するシステムである。

本システムは、これまで、清木康研究室（武蔵野大学データサイエンス学部、慶應義塾大学政策・メディア研究科）と UN-ESCAP の Environment and Development Division (EDD) および ICT and Disaster Management Division (IDD) との共同研究プロジェクトにおいて、SDG9（レジリエントな社会インフラ整備）、SDG11（持続可能なまちづくり）、SDG14（海洋と海洋資源の保護）分野における環境センシング・分析・可視化・共有を行うシステムとして UN-ESCAP SDG HELP DESK に活用されている[25]。

5D World Map System の特徴は、多面的な内容を含むメディアデータを対象として、利用者の興味・関心・視点と時空間情報の組み合わせに応じて、動的に、多種多様な事象についてのストーリー（解釈）を生成可能とする点にある。また、フィジカル空間上のセンシングデータをサイバー空間上のマルチメディアと共に多層的・総合的に解析するための協働研究プラットフォームを提供している点にある。

5D World Map System の SPA 機能を Figure 1 に示す。環境センシング、環境分析、環境可視化機能を統合し、環境現象を物理空間（実空間）内の実データ資源として検出し（Sensing）、情報空間にマッピングし、AI 機能として解析的・意味論的コンピューティングを行い（Processing）、因果関係および影響について計算された結果を視覚化表現と共に実空間社会に発信・提供する（Actuation）機能を実現している。

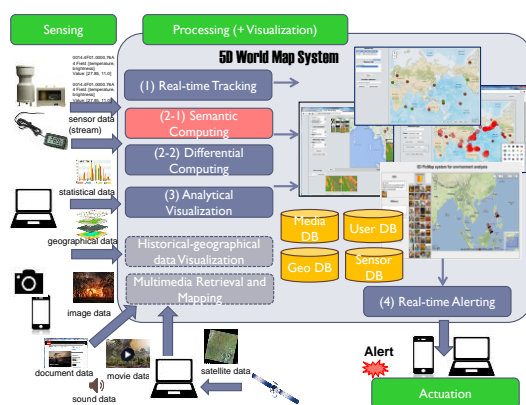


Figure 1 Overview of the Sensing-Processing-Actuation function (SPA) of 5D World Map System [1][2][3] [24]

5D World Map System の主要な機能は次の 6 機能である：1. Cross-topic multimedia search by semantic similarity calculation, 2. Multimedia database overview by spatiotemporal information, 3. Media data uploader for multi users, 4. Differential computing for spatiotemporal data, 5. Historical-geographical information visualization and 6. SPA function. 特に、SPA 機能については、次の 4 つのサブ機能が担っている：(1) Real-time Tracking for sensor data (S), (2-1) Semantic Computing for sensor data (P), (2-2)

Differential Computing for sensor data (P), (3) Analytical Visualization for sensor data (A), and (4) Real-time Alerting for sensor data (A) (Figure 1)。これらの機能群の定式化と詳細は、文献[2][3][24]に述べられている。

また、SPA 機能と「グローバル環境ランキング関数」との関連を Figure 2 に示す。

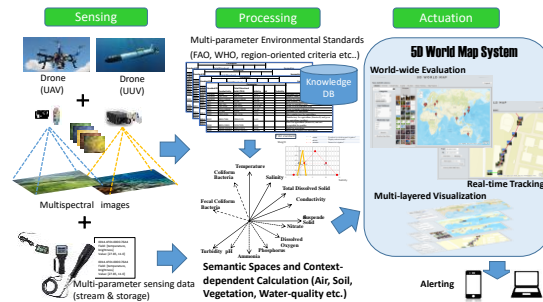


Figure 2. Overview of the relations between SPA process and the proposed “world-wide evaluation” functions [24]

### 3. グローバル環境ランキング関数

本グローバル環境ランキング関数では、マルチパラメータ・センサーデータから推定される環境変化という現象が環境そのものへ与える影響を「意味」として定義する。本関数の特徴は、

(1) 数値的な環境質レベルを、非専門家や一般の人々でも理解できる文または単語のセットによって定性的な影響/意味/解釈に変換すること、および (2) 世界中の複数地点のマルチパラメータ・センシングデータを対象として、意味的な環境状況の「世界ランキング」を可視化する点にある。

#### 3.1 マルチパラメータ環境基準

環境工学の分野で解決すべき重要かつ挑戦的な課題の 1 つは、気象、水質、大気質、土壌質などを評価する際、「国際標準」とされる世界基準は存在するものの、実際には国/地域ごとの環境基準が多様に存在し、環境評価においては、世界気象予報のように単純に比較できない点にある。

さらに、これら国/地域別の環境基準は複数パラメータにより環境の質レベルを定義しているため、一般人・非専門家が各パラメータ数値を観察するだけでは実際の環境状況を判断することは困難である。たとえば、気象条件は日照、気圧、温度、濁度、風速、降雨量などによって決定され、水質は導電率、総溶解固形物、塩分、Ph、濁度、溶解酸素、アンモニア、大腸菌群、化学物質含有量など、大気質は CO、So2、NH3、NO2、Pb、PM10、PM2.5 などの値によって定義されている。

国/地域別の環境基準において、各環境要素（水質・大気質・土壌質など）の状態は、複

数のパラメータ値の範囲に入っているか否かによって判断され、「良好 (Good)」、「十分 (Satisfactory)」、「中程度に汚染 (Moderately-polluted)」、「不良 (Poor)」、「非常に不良 (Very Poor)」、「重度 (Severe)」などの質レベルとして判定される。より詳細な情報としては、人体への影響が「関連する健康への影響 (Associated Health Impacts)」、「一般的な健康への影響 (General Health Effects)」、「健康への影響 (Health Implications)」として提示される。例えば大気質の場合、大気質指数 (Air Quality Index: AQI) は、カテゴリ (レベル/範囲) を良好 (0-50)、十分 (51-100)、中程度に汚染 (101-200)、悪い (201-300)、非常に悪い (301-400)、重度 (401-500) と定義される。さらに、十分 (51-100) の「関連する健康への影響」は「敏感な人には軽度の呼吸不快感を引き起こす可能性がある」、中程度の汚染 (101-200) のそれは「喘息などの肺疾患を持つ人々に呼吸の不快感を引き起こし、心臓病を持つ人々、子供および高齢者に不快感を引き起こす可能性がある」などとなる [25]。

**Table 1.** Example of Multi-parameter Environmental Standards and the “semantics” (Water-quality standards)

Standard ID	Parameter					Semantics
	Conductivity	Total Dissolved Solid (TDS)	Salinity	pH	Turbidity	
FAO001	0-699	0-449	0-0.5	-	-	Excellent for drinking and irrigation
FAO002	700-2999	500-1999	0.5-1.9	-	-	Slightly saline to toxic
FAO003	3000-100000	2000-100000	2.0-10	-	-	Severe for irrigation
J001	0-249	0-149	0-0.14	-	-	Low toxicity for crop
J002	250-749	150-499	0.15-0.49	-	-	Toxic to sensitive crop
J003	750-2249	500-1499	0.5-1.49	-	-	Toxic to low tolerance crop
J004	2250-100000	1500-100000	1.5-10	-	-	Toxic to highly tolerance crop
E001	0-1499	0-959	0-0.9	-	-	Excellent for agriculture
E002	1500-4999	960-3199	1-2.9	-	-	Very satisfactory for agriculture
E003	5000-7999	3200-5119	3-4.9	-	-	Satisfactory for agriculture (livestock) and poor for agriculture (poultry)
E004	8000-19999	5120-7039	5-6.9	-	-	Poor for agriculture (livestock) and not acceptable for poultry
E005	20000-159999	7040-10239	7-9.9	-	-	Unfit for agriculture
E006	16000-100000	10240-100000	10-100	-	-	Risks and Toxicity for agriculture
J010	-	-	-	3.0-3.49	-	Effect to fish
J011	-	-	-	3.5-3.9	-	Fish can survive in few hours
J012	-	-	-	4.0-4.49	-	Lethal to salmonids
J013	-	-	-	4.5-4.9	-	Absent in all fish frogs and insects
J014	-	-	-	5.0-5.49	-	Most fish eggs will not hatch
J015	-	-	-	5.5-5.9	-	Bacteria begin die and planton begin disappear
J016	-	-	-	6.0-6.49	-	Absent in freshwater shrimp
J017	-	-	-	6.5-8.19	-	Optimal for most organisms
J018	-	-	-	8.2-8.9	-	Begin harmful to fish
J019	-	-	-	9.0-10.49	-	Harmful to salmonids and perch
J020	-	-	-	10.5-10.9	-	Rapidly lethal to salmonids
J021	-	-	-	11-11.5	-	Rapidly lethal to all of fish
H001	0-29	0-199	-	6.50-7.99	-	Optimum for industrial processes
H002	30-49	200-349	-	6.00-6.49	-	Slightly corrosive, scaling and fouling
H003	30-49	200-349	-	9.00-9.99	-	Slightly corrosive, scaling and fouling
H004	50-119	350-799	-	5.00-5.99	-	Moderate corrosive, scaling and fouling
H005	50-119	350-799	-	8.00-8.99	-	Moderate corrosive, scaling and fouling
H006	120-249	800-1599	-	4.00-4.99	-	Highly corrosive, scaling and fouling
H007	120-249	800-1600	-	10.00-11.99	-	Highly corrosive, scaling and fouling
H008	250-1000	1600-10000	-	0.00-3.99	-	Unfit for industrial processes
H009	250-1000	1600-10000	-	12.00-14.00	-	Unfit for industrial processes
W001	-	0-199	-	6.50-8.49	0.00-1.99	Optimum for drinking
W002	-	200-599	-	8.50-9.12	2.00-4.99	Hazard and chronic toxic for drinking
W003	-	600-1000	-	9.20-14.00	5.00-10.00	Unfit and toxic for drinking

\*References and Data Sources: Standard ID “FA0001-003”: R. S. Ayers and D. W. Westcot, Water quality for agriculture, FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER, 29 Rev. 1, Reprinted 1989, 1994, Food and Agriculture Organization, United Nations Rome, 1985, FAO. [18], Standard ID “J001-021”: Johnson, R. L.; Holman, S.; Holmquist, D.D., Water Quality with Calculators; Vernier Software & Technology: Beaverton, OR, 2000; pp. 5-1 - 5-11. [19], Standard ID “H001-009”: S Holmes, CSIR Environmental Services, South African Water Quality Guidelines, Volume 3 Industrial Use, Vol 2, 1996.

[20], Standard ID “W001-003”: World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. - 3rd ed., WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2008. [21].

Table 1 は、水質に関するマルチパラメータ環境基準の例である。様々な国際・国/地域別基準[18]-[21]から水質専門家によって解釈された、水質レベルと人体・環境への影響についての一覧を示している。

### 3.2 多次元計量空間

3.1 節で示したように、各環境要素の状態は、パラメータ値の範囲によって環境質レベルとして解釈され、より詳細な人体・環境への影響といった情報は「意味」として提供される。したがって、各パラメータ値と意味との関係または相関を計算するための計量空間は、直感的には Figure 3 のように表される。Figure 3 に示される水質の例では、各コンテキスト（灌漑、飲料水、魚、農業など）の評価基準の範囲は、関連する軸（=パラメータ（導電率、塩分、TDS、Ph、濁度など）によって選択される各サブスペースの「ゾーン」として表現される。

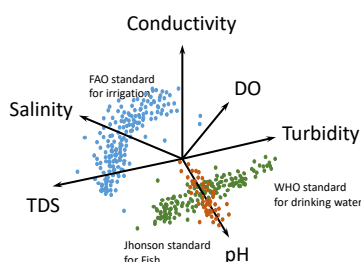


Figure 3. Intuitive Image of Multidimensional Semantic Space for Environment Analysis (Eg. Water-quality Semantic Space)

### 3.3 SR 評価関数

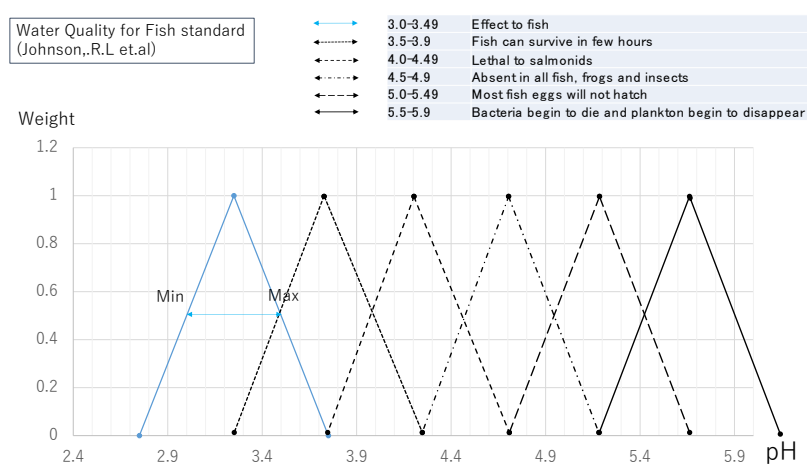
本グローバル環境ランキング関数では、シンプルなファジーロジックを適用し、各国/地域の標準/規格に従い環境質の「意味」の範囲を定義する。ここではこれを、*Semantic Range (SR)* と呼ぶ。各国/地域の標準/規格の各パラメータの最小値は *SR-min* として定義され、最大値は *SR-max* として定義され、平均値は *SR-mean* として定義される。現実として、あるパラメータの測定値は高レベルに含まれ、他のパラメータ値は低レベルに含まれることがある。このような場合を処理するため、ファジー集合範囲の一種のメンバーシップ関数をパラメータごとに設定する。Table 2 に示すように、昇順のファジーセット範囲は *SR-lowest-limit* と *SR-mean* からの範囲として定義され、降順のファジーセット範囲は *SR-mean* と *SR-highest-limit* からの範囲として定義される。

なお、ファジー集合間隔の測定値の合計点は、各パラメータ値の各重みの合計として計算される。



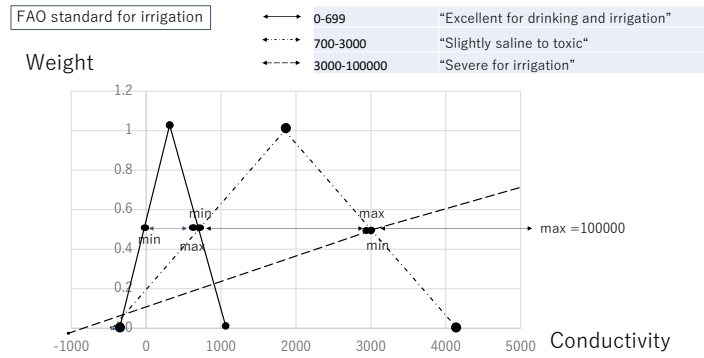
**Table 2.** Definition of fuzzy-set interval and the membership function

Definition	Weight
$SR\text{-lowest-limit}$ $= SR\text{-min} -  (SR\text{-min} - SR\text{-mean}) $	0
$SR\text{-min}$	0.5
$SR\text{-mean}$ $= (SR\text{-max} + SR\text{-min}) / 2$	1
$SR\text{-max}$	0.5
$SR\text{-highest-limit}$ $= SR\text{-max} -  (SR\text{-mean} - SR\text{-max}) $	0

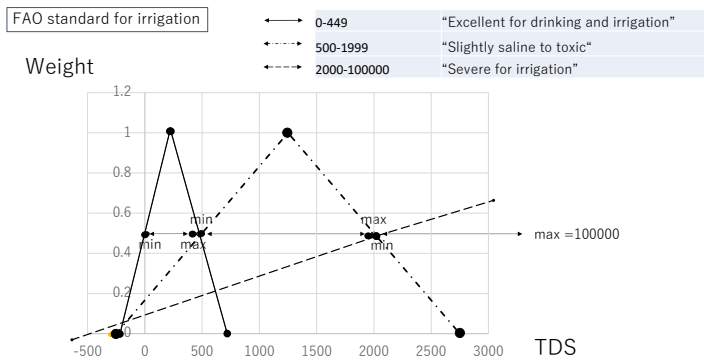


**Figure 4.** Example of membership function (in the case of Johnson's water-quality standard for Fish, where only pH parameter is used)

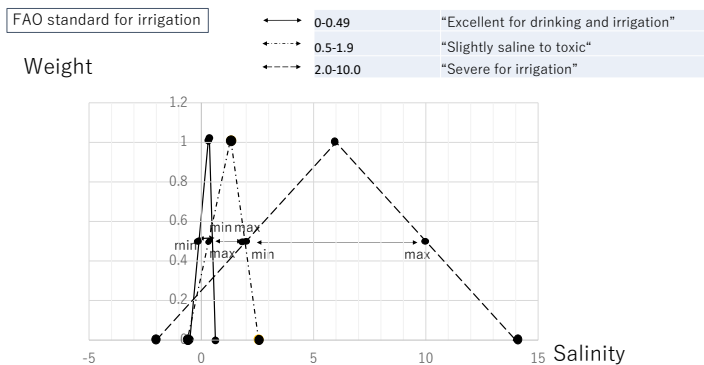
Figure 4 は、Table 1 (J001-J021) に記載されている、魚類生息のための意味的な水質基準を計算するためのメンバーシップ関数の例を示している。魚類生息のための水質レベルは単一パラメータの pH 値によって定義されているため、その意味も単一パラメータの値によって判断される。



(a)



(b)



(c)

**Figure 5.** Example of membership functions for multi-parameter (Eg. FAO's water-quality standard for Drinking Water): (a): Conductivity, (b) TDS and (c) Salinity

Figure 5 は、Table 1 (FA0001-003) で説明されている飲料水の水質基準の意味を計算するためのマルチパラメータのメンバーシップ関数の例を示している。飲料水の水質レベルは、3 パラメータ値の範囲（導電率、TDS、塩分）によって定義されるため、その意味は、各パラメータの重量/ポイントの合計によって計算される。

### 3.4 計算結果

Table 3に、Figure 5のメンバーシップ関数を使用した計算結果の例を示す。理想的なケース (Ideal Case)、ケース1 (Case 1)、およびケース2 (Case 2) が想定されている。理想的なケースでは、各パラメータの測定値は、合計点である SR-mean と同じであるため、意味「飲用・灌漑に優れている (Excellent for dinking and irrigation)」に対するポイント (= 関連度) は 3.0 であり、「飲用・灌漑に優れている」と判断される。一方、ケース1では、パラメータ1とパラメータ3の測定値は SR-mean と同じであるが、パラメータ2の値は「弱塩分から毒性あり (Slightly saline to toxic)」 (ポイント= 0.6) の SR-min から SR-mean の範囲に含まれており、かつ「飲用・灌漑に優れている」 (ポイント= 1.0) の範囲外である。したがって、「飲用・灌漑に優れている」の合計点は、「優れている」と判断されているものの、2.0 に低下している。最後に、ケース2では、パラメータ3の測定値が完全に「飲用・灌漑に優れている」 (ポイント= 0) と「弱塩分から毒性あり」 (ポイント = 0) の範囲外であるため、「飲用・灌漑に優れている」と「弱塩分から毒性あり」の合計ポイントが 1.0 と 0.9 に減少し、結果は「灌漑には使用困難 (Severe for irrigation)」と判断される (ポイント= 1.3)。

Table 3. Examples of Calculation Results of Semantic Computing

		Parameter 1 (Conductivity)	Parameter 2 (TDS)	Parameter 3 (Salinity)	Point for Semantics (Sum of Weight)
<b>Ideal Case</b>	Measured Value of Parameter	350	250	0.25	
	Weight of Semantics				
	"Excellent for drinking and irrigation" (FAO)	1	1	1	3
	"Slightly saline to toxic" (FAO)	0.3	0.35	0.5	1.15
	"Severe for irrigation" (FAO)	0.1	0.1	0.1	0.3
<b>Case 1</b>	Measured Value of Parameter	350	750	0.25	
	Weight of Semantics				
	"Excellent for drinking and irrigation" (FAO)	1	0	1	2
	"Slightly saline to toxic" (FAO)	0.3	0.6	0.5	1.4
	"Severe for irrigation" (FAO)	0.1	0.2	0.1	0.4
<b>Case 2</b>	Measured Value of Parameter	350	750	6	
	Weight of Semantics				
	"Excellent for drinking and irrigation" (FAO)	1	0	0	1
	"Slightly saline to toxic" (FAO)	0.3	0.6	0	0.9
	"Severe for irrigation" (FAO)	0.1	0.2	1	1.3

## 4. 5D World Map System 上における可視化

### 4.1 マルチパラメータ値の可視化

Figure 6は、世界中の複数地点のマルチパラメータ環境値が 5D 世界地図に可視化された結果を示している。専門家でない一般ユーザでも、環境の質の状態や時系列の変化を実際の測定値と比較できることを示している。

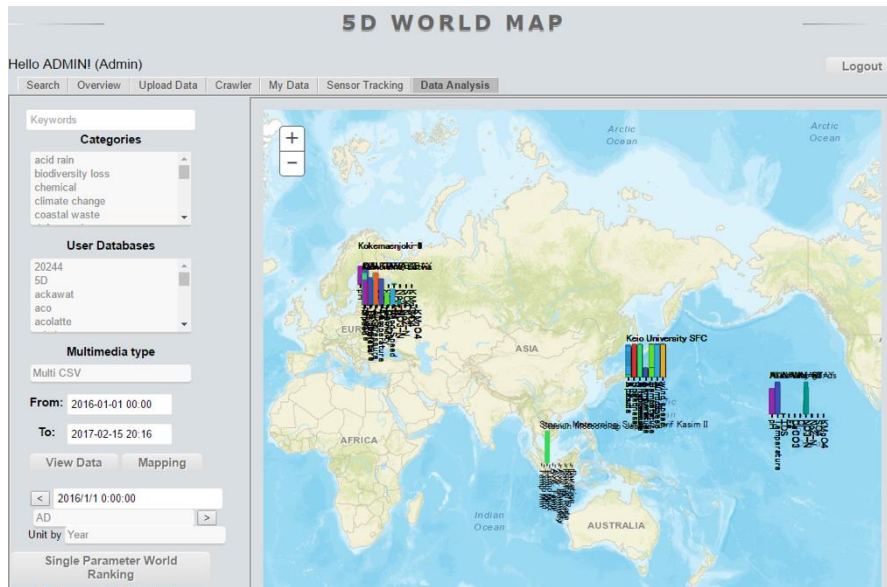


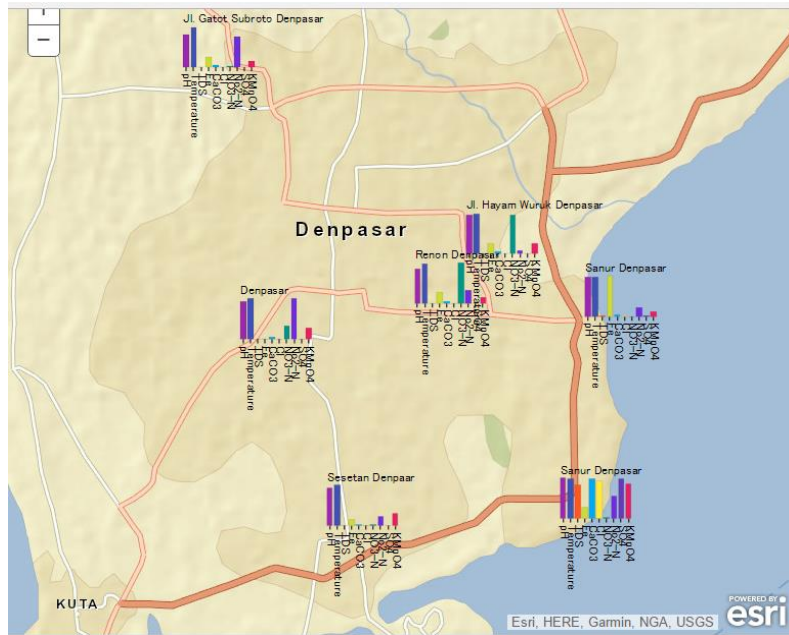
Figure 6. Visualization of multi-parameter water-quality, soil-quality and air-quality values in multiple cities (Surabaya - Indonesia, Riga - Latvia, Pori - Finland, Fujisawa, Japan and Honolulu - Hawaii, USA) in 2016

#### 4.2 マルチパラメータ値の時系列可視化

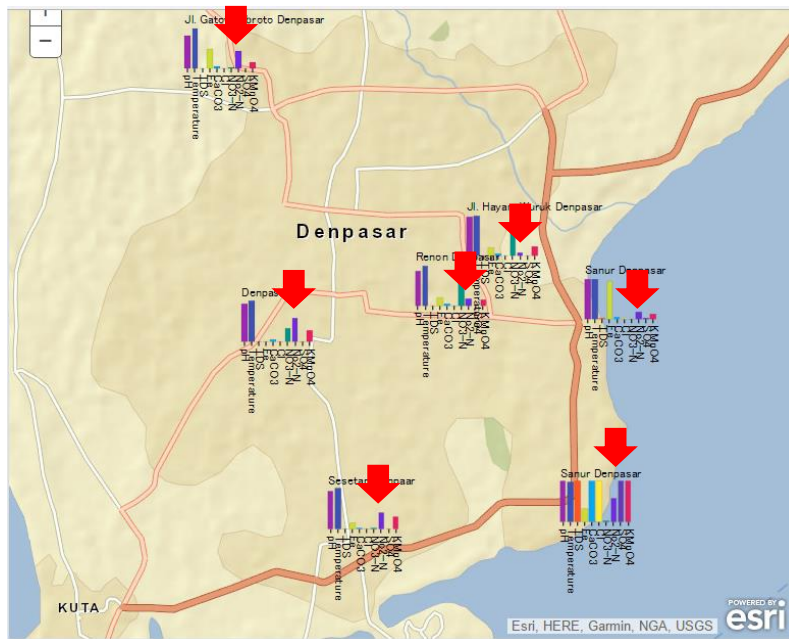
Table 4 は、マルチパラメータ・センシングデータのデータ構造例を示している。各属性は、日付/時刻、場所、緯度、経度、および各環境要素に応じたパラメータ名として定義されている。この表は、インドネシアのバリ州デンパサールの複数地点における深井戸の実際の水質測定値の例を示している。

Table 4. Data Structure for Visualization and the Example of Measured Values of Multi-parameter in the real situation: Water-quality values of deep-wells in multiple points in Denpasar, Bali, Indonesia (Jan. 1st, 2014 to Jan. 2nd, 2014)

Date	Location	Latitude	Longitude	pH	Temperat	TDS	Fe	CaCO3	Cl	NO3-N	No2-N	SO4	KMnO4
2014/1/1	Renon Denpasar	-8.67189	115.23216	6.8	27.9	405	0.101	210.7	69.3	4.481	0.0265	3.01	3.505
2014/1/1	Ji. Gatot Subroto Denpasar	-8.63262	115.19334	6.4	27.9	547	0.092	249.9	61.9	0.0565	0.0585	3.445	3.505
2014/1/1	Sanur Denpasar	-8.70783	115.25655	7.85	27.9	41230.5	0.1015	5365.5	17355	0.1015	0.043	761.5	18.31
2014/1/1	Sanur Denpasar	-8.67415	115.26076	7.7	27.9	976	0.358	323.4	594.3	0.0475	0.018	17.65	2.71
2014/1/1	Sesetan Denpasar	-8.70895	115.21742	7.3	28.9	536.5	0.0575	161.7	84.25	0.0635	0.0175	1.13	6.23
2014/1/1	Ji. Hayam Wuruk Denpasar	-8.66363	115.2408	7.5	27.9	464	0.0855	257.25	54.45	4.2575	0.0055	2.835	5.315
2014/1/1	Ji. Melati Denpasar	-8.5931	115.23042	7.4	28.6	458.5	0.09	249.9	61.9	4.443	0.0065	3.355	5.4
2014/1/1	Denpasar	-8.67799	115.20286	7.4	28.9	444	0.0025	269.5	71.8	1.4975	0.079	1.73	6.21
2014/1/2	Renon Denpasar	-8.67189	115.23216	6.8	27.9	421	0.074	215.6	69.3	4.278	0.013	3.05	3.34
2014/1/2	Ji. Gatot Subroto Denpasar	-8.63262	115.19334	6.3	27.9	586	0.172	235.2	54.5	0.063	0.033	3.29	3.01
2014/1/2	Sanur Denpasar	-8.70783	115.25655	7.9	27.9	49464	0.118	5537	19016	0.081	0.046	778	21.64
2014/1/2	Sanur Denpasar	-8.67415	115.26076	7.7	27.9	899	0.327	294	594.3	0.056	0.013	15.83	2.89
2014/1/2	Sesetan Denpasar	-8.70895	115.21742	7.3	28.9	540	0.056	166.6	79.4	0.069	0.032	1.1	6.23
2014/1/2	Ji. Hayam Wuruk Denpasar	-8.66363	115.2408	7.5	27.9	449	0.069	240.1	59.4	4.022	0.005	2.65	4.77
2014/1/2	Ji. Melati Denpasar	-8.5931	115.23042	7.4	28.6	469	0.108	245	64.4	4.405	0.004	3.4	5.49
2014/1/2	Denpasar	-8.67799	115.20286	7.4	28.9	429	0.002	254.8	74.3	1.507	0.046	1.22	6.03



(a)



(b)

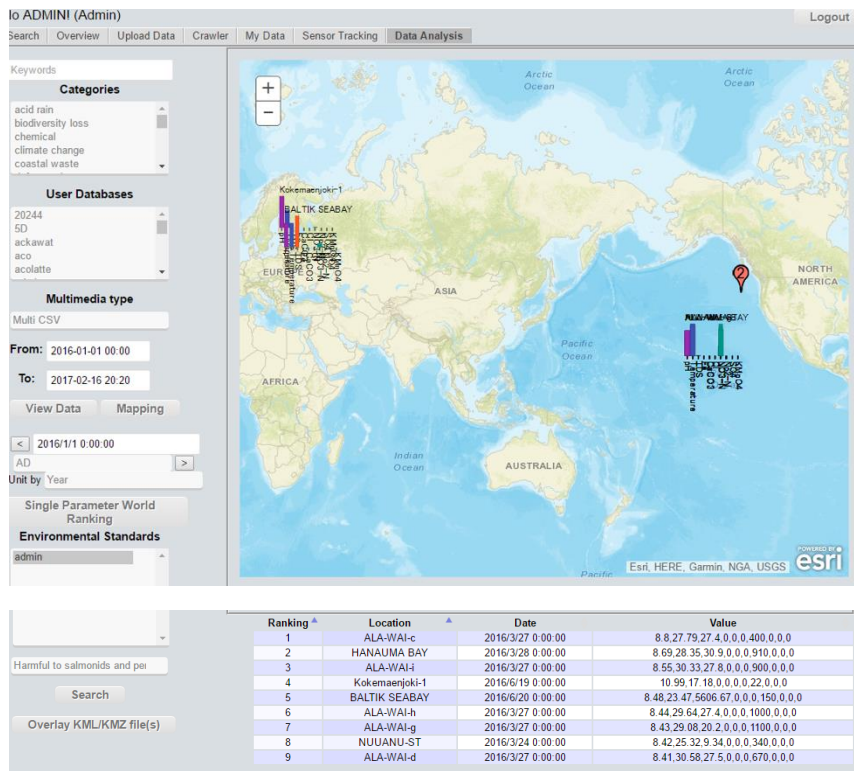
**Figure 7.** Visualization of multi-parameter water-quality values of deep-wells in multiple points in Denpasar, Bali, Indonesia: (a) Jan. 1st, 2014 and (b) Jan. 2<sup>nd</sup>, 2014.

**Figure 7** は、**Table 4** の可視化結果を示している。時系列比較結果、2014年1月1日から2014年1月2日にかけて、あるパラメータ (NO<sub>2</sub>-N) 値が、ほとんどの地点で減少しているものの、人口の多い沿岸地域で増加していることが分かる。

以上の結果により、本マルチパラメータ値時系列可視化機能により、特定地域に焦点を当てた複数地点での環境観測に応用できることを示している。

### 4.3 グローバル環境ランキング関数によるマルチパラメータ値可視化

3節で示した計算方法に基づいて、グローバル環境ランキング関数は、マルチパラメータデータの意味的計算と可視化を実現する。**Figure 8**は、マルチパラメータ値可視化の実行例を示している。この例では、ユーザが Johnson's standard for Fish (J019, **Table 1**)という国際基準で定義された「サケとスズキに有害」という言葉を選択すると、システムがRS評価関数によって計算されたポイントに従って「世界ランキング」と関連する全ての地点の場所、日付、および実際の測定値を降順で表示することが示されている。この結果は、世界中の複数地点の複雑なマルチパラメータセンシング値を対象として、セマンティック・コンピューティングによる「世界ランキング」が可能となり、本システムが「ローカルデータのグローバル比較」を実現する可能性を示している。



**Figure 8.** Example of Multi-parameter-value Visualization for Semantic Computing (Selected Semantics="Harmful to salmonids and perch" by Johnson's standard for Fish (J019, Table 1))

### 4.4 グローバル環境ランキング関数によるシングルパラメータ値可視化

グローバル環境ランキング関数は、マルチパラメータデータ値の意味計算だけでなく、オプションのサブ関数としてシングルパラメータ値の世界ランキングの可視化も提供する。**Figure 9**は、単一パラメータ値の可視化の実行結果の例を示している。ユーザが「TDS」などの単一パラメータを選択すると、本システムは、場所、日付、およびすべてのサイトの値の「世界ランキング」を降順で表示する。

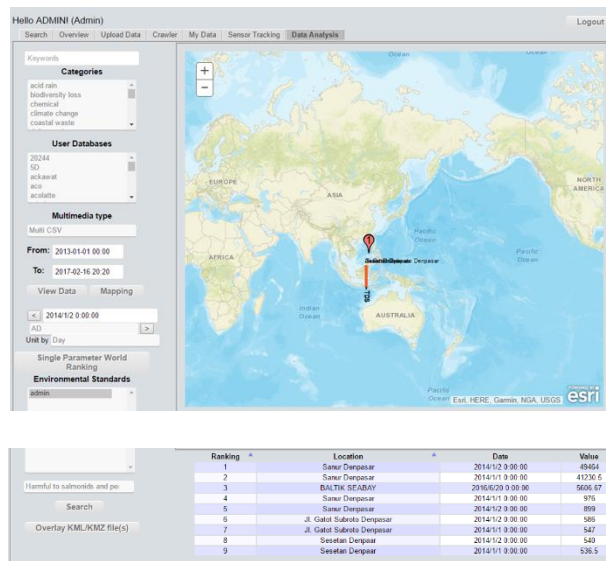
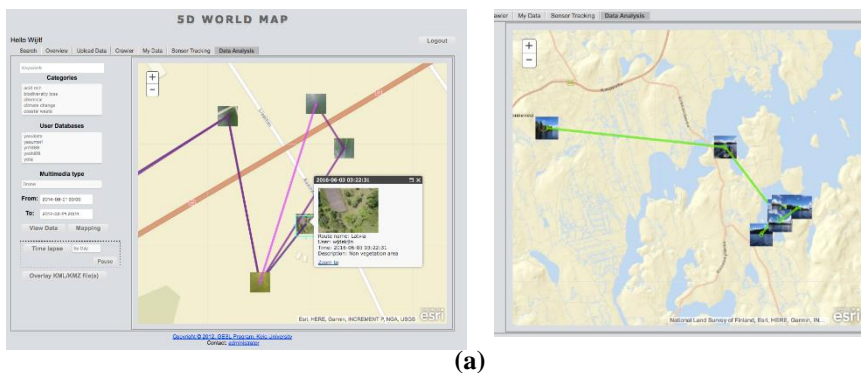
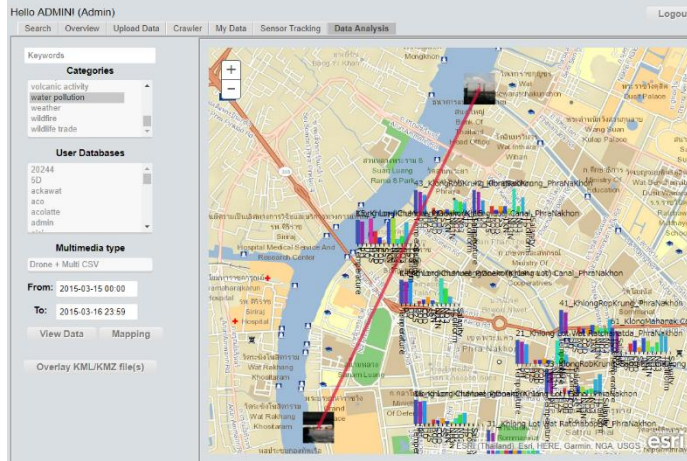


Figure 9. Example of Single-parameter-value Visualization (Selected parameter="TDS")

#### 4.5 マルチパラメータ・センシングデータと画像メディアの多層的可視化

Figure 10は、5D World Map Systemのリアルタイム UAV 画像マッピング機能の実験結果(a)と、UAV 画像マッピングとマルチパラメータ・センシングデータを多層的に可視化・統合した結果例(b)を示している。本機能により、時系列変化に伴うデータ分布の変化を直感的に把握することにより、複雑な環境トピックの多次元解析を可能にすることを示している。





(b)

**Figure 10.** Example of a layered visualization of real-time UAV image mapping and multi-parameter-value visualization: (a) experimental results of real-time UAV image mapping in Latvia and Finland in 2015, and (b) layered visualization of UAV image mapping of Chao Phraya river basin and water-quality data in Bangkok, Thailand in 2015

## 5. 結論と今後の展望

SDGsに掲げられる社会的課題の解決における5D World Map Systemの貢献としては、ローカルな環境状況を獲得し(Sensing)、それらを多次元空間の世界地図システム上に蓄積し、地理的、時間的、意味的な次元の操作により、過去の環境事象と現在の事象(あるいは、対象地域の事象と他地域の事象)との“類似性、相関性、差異性”の計量により、過去の環境事象との比較における現在環境事象状況の把握と共有、および、過去の事象との比較における次事象の予測(次に発生する環境事象の予測)を行い(Processing)、それらを世界規模の地図上で可視化(警告発信:Actuation)することで、局所的環境事象の共有による世界規模での災害・環境変化分析・可視化および予測を実現する点にある。

特に、5D World Map Systemを用いたSDG9、SDG11、SDG14に関するUN ESCAPとの共同研究プロジェクト[25][26]は、環境変化・災害という現象そのものではなく、現象が社会全体へ与える影響の「意味」を多層的に分析・予測する点に特徴がある。環境変化・災害に係る複数の次元、すなわち、災害レベルのパラメータ(震度、洪水域、土砂崩れ発生地域等)と、物理的被害規模(インフラ、ライフライン、発電所、建物等)、メディア(新聞、テレビ、SNS)、社会経済的インデクス(人口、公共衛生、教育)、産業・企業活動(工場、物流、サプライチェーン)といった各次元の断片的な分析を、多層的可視化技術(Multi-layered Visualization)により、異常気象や災害に脆弱な地域・地区の特定や、レジリエントな社会構築に必要な人的資源・予算配分などの政策立案を支援する。本プロジェクトは、これら現象が社会全体へ与える影響の意味を社会全体の知識として直観的・集約的に記憶し、注目する次元を意味的な写像によって



表現・分析することで、環境変化・災害現象を次の世代へ伝えるための集合的な記憶として残す試みである。

## 参考文献

[1] Kiyoki, Yasushi, and Xing Chen. “Contextual and Differential Computing for the Multi-Dimensional World Map with Context-Specific Spatial-Temporal and Semantic Axes.” *Information Modelling and Knowledge Bases XXV* 260 (2014): 82.

[2] Sasaki, S., Takahashi, Y, Kiyoki, Y., “The 4D World Map System with Semantic and Spatiotemporal Analyzers,” *Information Modelling and Knowledge Bases, Vol.XXI*, IOS Press, pp. 1 - 18, 2010.

[3] Sasaki, S. and Kiyoki, Y., “Real-time Sensing, Processing and Actuation Functions of 5D World Map System: A Collaborative Knowledge Sharing System for Environmental Analysis,” *Information Modelling and Knowledge Bases, Vol. XXVIII*, IOS Press, pp. 220-239, May 2016.

[4] Kiyoki, Y. and Kitagawa, T., A semantic associative search method for knowledge acquisition, *Information Modelling and Knowledge Bases VI*, H. Kangassalo et al eds. IOS Press 1995 pp. 121-130.

[5] Kiyoki, Y., Sasaki, S., Nguyen N. T., Nguyen, T. N. D., “Cross-cultural Multimedia Computing with Impression-based Semantic Spaces,” *Conceptual Modelling and Its Theoretical Foundations, Lecture Notes in Computer Science*, Springer, pp.316-328, March 2012.

[6] Edward A. Lee, “Cyber Physical Systems: Design Challenges,” *Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, 11th IEEE International Symposium on 5-7 May, 2008, pp. 363-369.

[7] Edward A. Lee, “Cyber-physical systems - are computing foundations adequate?,” *Position Paper for NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap*, October 16-17, 2006.

[8] Rangunathan (Raj) Rajkumar, Insup Lee, Lui Sha, John Stankovic, “Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution,” *DAC '10 Proceedings of the 47th Design Automation Conference*, ACM New York, NY, USA, 2010, Pages 731-736, 2010.

[9] Nguyen, D. T. N., Sasaki, S. and Kiyoki, Y., “5D World PicMap: Imagination-based Image Search System with Spatiotemporal Analyzers,” *Proceedings of The IADIS e-Society 2011 (ES 2011)*, Avila, Spain, pp.272 - 278, March 9th - 13th, 2011.

[10] Mori, M., Sasaki, S. and Kiyoki, Y., “A Bird-World Image-Map System with Spatiotemporal and Color Analysis Functions,” *10th International Conference on IEEE ICT and Knowledge Engineering (ICT-KE 2012)*, Siam University, Bangkok, Thailand, pp.104

- 111, 21 Nov - 23 Nov 2012.

[11] Itabashi, Y., Sasaki, S., and Kiyoki, Y., “Distinctive-Color Analytical Visualization for Cross-Cultural Image Computing with 5D World Map,” Knowledge Creation & Intelligent Computing 2013, South Bali, Indonesia, pp.37-44, March 2013.

[12] Fujioka, H., Sasaki, S., and Kiyoki, Y., “An Analytical Visualization System of Historical, Geographical and International Trading Information for 5D World Map,” Knowledge Creation & Intelligent Computing 2013, South Bali, Indonesia, pp.51-58, March 2013.

[13] Komori, Y., Sasaki, S., and Kiyoki, Y., “Descriptive Bibliography Search System with Historical Geographic 5D World Map Visualization,” Knowledge Creation & Intelligent Computing 2013, South Bali, Indonesia, pp.132-139, March 2013.

[14] Amane KOBAYASHI, Shiori SASAKI, Yasushi KIYOKI, An Analytical Visualization of Global Political Effects with 5D World Map System: Cases of Anti-governmental Movement to Regional Upheaval in the Middle East, The Third Indonesian-Japanese Conference on Knowledge Creation and Intelligent Computing (KCIC) 2014, Malang, Indonesia, accepted 8 pages, March 25-26, 2014.

[15] Wahjoe Tjatur SESULIHATIEN, Shiori SASAKI, Yasushi KIYOKI, Building Public E-Health with 5D World Map System (EH5D): Awareness Scenario of Dengue Spreading in Surabaya, The Third Indonesian-Japanese Conference on Knowledge Creation and Intelligent Computing (KCIC) 2014, Malang, Indonesia, accepted 8 pages, March 25-26, 2014.

[16] Kang, S., Kobayashi, A., Tomobe, K., Hashim, I. H. M., Sasaki, S., Morita, K., “Effects of Renewable Energy Policies in Asia-Pacific: Application of a 5D World Map System,” 2014 Biennial Conference on Sustainable Business, Energy and Development in Asia (COSA2014), Hiroshima, Japan, March 17-19, 2014.

[17] Veessommai C., Kiyoki Y., Sasaki S. and Chawakitchareon P., “Wide-Area River-Water Quality Analysis and Visualization with 5D World Map System”, Information Modelling and Knowledge Base XXVII, Vol. 280, pp. 31-43, 2016.

[18] R.S. Ayers and D.W. Westcot, *Water quality for agriculture*, FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER, 29 Rev. 1, Reprinted 1989, 1994, Food and Agriculture Organization, United Nations Rome, 1985 © FAO.

[19] Johnson, R. L.; Holman, S.; Holmquist, D.D., *Water Quality with Calculators*; Vernier Software & Technology: Beaverton, OR, 2000; pp. 5-1 – 5-11.

[20] S Holmes, CSIR Environmental Services, *South African Water Quality Guidelines*, Volume 3 Industrial Use, Vol 2, 1996.

[21] World Health Organization, *Guidelines for drinking-water quality* [electronic resource]: incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed., WHO

Library Cataloguing-in-Publication Data, 2008.

[22] <https://www.airnow.gov/index.cfm?action=airnow.international>

[23] Data source: the Metropolitan Waterworks Authority and Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment in Thailand, <http://www.pcd.go.th>

[24] Shiori Sasaki, Yasushi Kiyoki, Analytical Visualization Functions of 5D World Map System for Multi-Dimensional Sensing Data, Information Modelling and Knowledge Bases XXIX, 27th International Conference on Information Modelling and Knowledge Bases (EJC 2017), Krabi, Thailand, June 5-9, 2017.

[25] UNESCAP SDG HELP DESK: <https://sdghelpdesk.unescap.org/toolboxes/>

[26] Closing-the-Loop project, UN-ESCAP: <https://www.unescap.org/projects/ctl>