

自己組織化マップを利用した地方自治体の 水循環系の健全性に対する評価への試み —九州の市町村を事例として—

ATTEMPT AT ESTIMATION OF SOUND HYDROLOGICAL CYCLE FOR LOCAL
GOVERNMENTS USING SELF-ORGANIZING MAP
-AN EXAMPLE OF LOCAL GOVERNMENTS IN KYUSHU-

清武厚子¹・広城吉成²・新井田浩³・秦 裕一⁴・西山浩司⁵・神野健二⁶

Atsuko KIYOTAKE, Yoshinari HIROSHIRO, Hiroshi NIIDA, Yuichi HATA,
Koji NISHIYAMA and Kenji JINNO

¹学生会員 九州大学大学院工学府都市環境システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6丁目10-1)

²正会員 博(工) 九州大学助教授 工学研究院環境都市部門 (同上)

³正会員 博(工) 専門調査官 国土交通省国土計画局調整課 (〒100-8918 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3)

⁴学生会員 九州大学工学部地球環境工学科 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6丁目10-1)

⁵正会員 理修 九州大学助手 工学研究院環境都市部門 (同上)

⁶正会員 工博 九州大学教授 工学研究院環境都市部門 (同上)

In order to establish the sound hydrological cycle, it is necessary to analyze all related subjects for topographical properties and human activities which associate with the current states of hydrological cycle (i.e. flood control, water utilization, water environment). In this paper, a questionnaire survey for the sound hydrological cycle was carried out, to all local governments in Kyushu. Thereby we analyzed the following three patterns using Self-Organizing Map, as an attempt at the estimation of sound hydrological cycle; (1) results of questionnaire survey, (2) statistical data, and (3) results of questionnaire survey plus statistical data. As seen from the results of the three patterns, it was found that analyzing the features of hydrological cycle for each local government by SOM on adding the results of questionnaire survey to the statistical data enable us to classify in more detail. It can be expected as an attempt at the estimation of the sound hydrological cycle.

Key Words : *Self-Organizing Map (SOM), sound hydrological cycle, questionnaire survey, flood control, water utilization, water environments*

1. はじめに

我が国における水循環系は、河川を中心として古くから治水や利水のために人の手が加わり、長い時間をかけて人為的な水循環系と自然の水循環系（水文循環）とが有機的に結びついたものとなっている。人為的な水循環系は自然の水循環系を変化させ、自然環境や人間生活に対して正と負の効果をもたらす。正の効果は現代社会における生活の豊かさとして現われている一方、負の効果は洪水や渇水に対して脆弱な都市構造、閉鎖性水域などの水質汚濁、地下水利用地帯における地盤沈下などの形で20世紀の負の遺産として今もなお残されている。したがって、今後20世紀の負の遺産

を解消し21世紀において持続可能な社会を構築していくためには、これまで水循環系に対して与えてきた負の効果の反省に立ち、人間の諸活動との関連において水循環系の健全な姿を模索し、これを保全・継承していくことが重要な課題となっている¹⁾。

一方で、「水循環系」という概念が着目されている背景として、治水や利水、環境保全といった水に関わる行政行為が独自に個別の目的を追求した結果、互いに及ぼす影響が大きくなった。このため、水循環機構の解明や定量化といった技術面での研究開発が進められている一方で、水循環系の将来像の検討やこれを達成するための施策・技術等に関するテーマが研究課題として取り上げられることはほとんどなかった。これまでの水循環系に関する調査、研究では、モデルケー

スごとに水循環系の現状，変遷，未来像を設定し，詳細で大量のデータをもとに健全な水循環系の構築に向けた取り組みがなされている．今後は水循環系の定量化技術を基礎としつつも，行政分野の課題への直接的対応も求められ¹⁾，特定の自治体による取り組みに終わらせることなく，より多くの自治体において健全な水循環系の構築を目指す環境を整えていく必要がある．

本研究は，上記のような背景に鑑み，各自治体における水循環系の健全性を評価する試みとして，九州の市町村に健全な水循環系に関するアンケート調査を実施し，その回収結果を自己組織化マップ（Self-Organizing Map; SOM）によって分析し，次に，各自治体で公開されている統計データを利用したSOM分析，最後に，アンケート調査結果に統計データを加えたSOM分析を行い，3パターンのSOM分析結果の特徴について考察を行った．本研究では，アンケートの回答があった自治体に対し，水循環系に対する関心，水循環系健全化への意識向上のために，各自治体の治水，利水，環境の相対的評価を提供するとともに，これまで明確にされていなかった水循環系の健全性を客観化する試みを行うものである．

2．自己組織化マップ（SOM）について

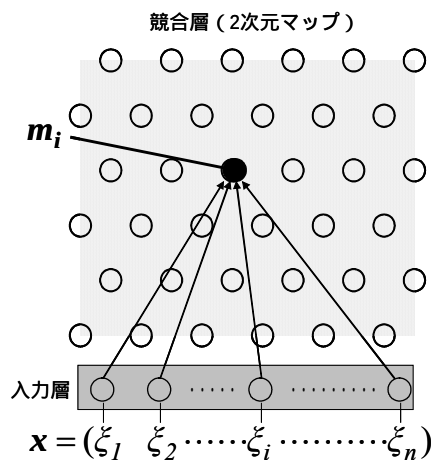


図-1 SOMの基本構造．

SOM²⁾は，図-1に示すように，入力層と競合層の2層からなる教師なしのニューラルネットワークである．入力層は， n 次元の入力ベクトル $x = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ に対応するように， n 個のニューロンによって構成される．一方，競合層では一般に，近傍のニューロン間の位置関係が六角形になるような2次元配列になっている．2次元マップのニューロンには，入力ベクトルと同じ次元を持つ重みベクトル $m_i = (\mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{in})$ が割り当てられる．入力ベクトルの特徴は，次に示すSOMアルゴリズムによる学習後，2次元マップ上の重みベクトルによっ

て表現されるようになる．

SOMアルゴリズムの計算過程は，入力ベクトルの正規化と重みベクトルの初期化の後，次のように行われる．まず，入力ベクトルの値が与えられると，2次元マップ上の全てのニューロンに割り当てられている重みベクトルと比較され，両者のユークリッド距離 $\|x - m_i\|$ が最小になるニューロン c （勝者ニューロン）が探索される．次に，各ニューロンの重みベクトルは，次式に示されるように近傍関数 h_{ci} に従って修正される．

$$m_i(t+1) = m_i(t) + h_{ci}(t, \|r_c - r_i\|) [x - m_i(t)] \quad (1)$$

$$h_{ci}(t, \|r_c - r_i\|) = \alpha(t) \cdot \exp\left(-\frac{\|r_c - r_i\|^2}{2\sigma^2(t)}\right) \quad (2)$$

ここに， t は学習回数， r_c, r_i は，それぞれ勝者ニューロン c とニューロン i の位置ベクトルを示す．本論文では，近傍関数に対して，式(3)のように勝者ニューロン位置を中心としたガウス分布が与えられる．また，学習率 $\alpha(t)$ と近傍半径 $\sigma(t)$ は，総学習回数を T として，学習回数とともに小さくなるように次式で設定する³⁾．

$$\alpha(t) = \alpha(0) \frac{T-t}{T} \quad (3)$$

$$\sigma(t+1) = 1 + (\sigma(t) - 1) \frac{T-t}{T} \quad (4)$$

以上のような近傍関数の特性から，勝者ニューロンに近いニューロンの重みベクトルほど修正量が大きくなるように競合学習が行われ，その修正の程度は学習回数とともに小さくなる．

この一連の操作（式（1）から（4））を，繰り返すことによって，最終的には，複雑な入力ベクトルの特徴が，マップ上の各ニューロンの重みベクトルで表現され，位置的に近いニューロン群は互いに類似した特徴を持ち，反対に遠いニューロン同士は，互いに異なった性質を持つように組織化される．同時に，全ての入力ベクトルは，各々最も特徴が近い重みベクトルを含むニューロンに割り当てられる．よって，マップ上のある領域に存在するニューロン群を選択すれば，類似した特徴を持った入力ベクトルを抽出することができる．

本研究では，水循環系の健全性を評価する指標をアンケートおよび統計データを入力データとし，多次元の複雑な関連性を視覚的に分類することができるSOM手法を採用する．

3．水循環系に関するアンケート調査

アンケート調査は九州地方の全自治体を対象に，水循環系の現状と課題に関する質問事項を設け，択一式で行った．アンケートの目的は，九州の市町村での水循

表 - 1 アンケート質問項目 .

1. 自治体の水に関わる課題や取り組みの概要について 急激な都市化の有無 1. 現在進行している 2. 過去にあった 3. ない 森林や農地の急激な減少の有無 1. 現在急激に減少している 2. 過去にあった 3. ない 水問題の有無 1. 現在も生じている 2. 過去にあった 3. ない 水問題対策の有無 1. あげられている 2. 過去にあげられていた 3. 柱としては特にあげられていない 水に関して力を入れている分野 (複数回答可) 1. 飲料水等の確保 2. 治水 3. 水質の向上 4. 親水空間としての整備 5. 生態系の保全 6. その他 水循環系への検討や取り組みの有無 1. 現在取り組んでいる 2. 重要だと思うが具体的な取り組みまでは至っていない 3. 水循環系の概念がよく分からない (取り組んでいない) 水に関連する活動団体の有無 1. たくさんある 2. ある 3. ない 4. 把握していない 水に関連するシンポジウム等の有無 1. 頻繁に開催されている 2. 時々開催されている 3. 開催されていない 2. 水害, 土砂災害の発生状況について 河川の氾濫頻度 1. 毎年発生している 2. 5年に1回以上 3. 10年に1回以上 4. 30年に1回以上 5. 30年以上発生していない 浸水の頻度 1. 毎年発生している 2. 5年に1回以上 3. 10年に1回以上 4. 30年に1回以上 5. 30年以上発生していない 土砂災害の頻度 1. 毎年発生している 2. 5年に1回以上 3. 10年に1回以上 4. 30年に1回以上 5. 30年以上発生していない 3. 水の利用状況について 給水制限の頻度 1. 毎年発生している 2. 5年に1回以上 3. 10年に1回以上 4. 30年に1回以上 5. 30年以上発生していない 用途別水使用量の比率 1. 生活用水 > 工業用水 > 農業用水 2. 生活用水 > 農業用水 > 工業用水 3. 工業用水 > 生活用水 > 農業用水 4. 工業用水 > 農業用水 > 生活用水 5. 農業用水 > 生活用水 > 工業用水 6. 農業用水 > 工業用水 > 生活用水 生活用水の自己水源比率 1. 80%以上 2. 60%以上 3. 40%以上 4. 20%以上 5. 20%未満 自己水源に関する河川と地下水の比率 1. 河川が80%以上 2. 河川が60%以上 3. 河川が40%以上 4. 河川が20%以上 5. 河川が20%未満 4. 水に関わる環境問題 (自治体で代表的な河川を想定する) について 河川水量の多寡 1. 渇水の年以外は常に豊かである 2. 水量が豊かなときと少ないときがある 3. 灌漑期はいつも水量が少ない 4. 洪水のとき以外はいつも水が少ない 河川、湖沼の水質の良悪 1. 良い 2. やや良い 3. 普通 4. やや悪い 5. 悪い 水質事故の有無 1. 頻繁に生じている 2. 時々生じている 3. 生じていない 河川や湖沼、水路等での動植物の生息 1. たくさんいる 2. ほどほどにいる 3. あまりいない 地盤沈下の有無 1. 生じている 2. 過去に生じたことがあった 3. 生じていない 塩水化の有無 1. 生じている 2. 過去に生じたことがあった 3. 生じていない 5. 水辺の親水度, 水に関わる文化について 水辺の景観の良悪 1. 良い 2. やや良い 3. 普通 4. やや悪い 5. 悪い 水辺へのアクセス性 1. たくさんいる 2. ほどほどにいる 3. あまりない 水に関わる文化の有無 1. 全国的に有名なものがある 2. 地域的なものがある 3. ない

環系の現状ならびに取り組みや活動を把握することである。アンケート項目を表—1に示す。質問事項は、水循環系の健全化に向けて、現状を評価する指標として、治水・利水・環境分野を中心とし、地域住民の意識調査アンケート⁴⁾等をもとに設定した。このアンケートは河川に関する質問が中心であったため、水循環系に湖沼等も対象とした。今回のアンケートでは、3のからで示した水の利用状況については著者らが設問した。また、水循環系の水に関わる環境問題に対す

る住民意識を知るために、4の及びは著者らが設問した。

アンケートは、九州の全市町村と8県庁に対し郵送で配布した(575通)。そのうち313通の回答があり、回収率は54.4%であった。アンケートとしては高い数値であり、水循環系に対する意識が高い自治体が多いと考えられる。得られた313通の回答のうち、全ての質問に回答した286の自治体を研究の対象とした。

4. SOMによる分析

(1) アンケート調査結果のみによる分析

本研究の目的は、水循環系の健全性に対する各自治体の現状とその意識を向上させることであり、アンケートにより把握した現状を何らかの方法で評価する必要があるが、本研究ではSOMを用いて分析を行う。この評価にあたって、健全な水循環系の現状が優れている自治体とそうでない自治体ごとに特徴を分類する。

分析には、アンケート項目で、治水状況を表す指標として水害、土砂災害についての質問2の3項目を、利水の状況を示し水循環系の評価に関係すると考えられる質問3の3項目を、最後に質問4、5の計9項目を水循環系の環境を評価する項目として用いた。なお、水循環系に関する取り組みについての質問1の8項目については、主観的影響が高い項目であるため今回の分析対象からは除外した。

入力した15項目のアンケート回答結果を正規化し、分析データとして用いた。それぞれの質問項目について、優れている状態を1、劣っている状態を0とした。ただし、質問3の3項目については優劣をつけられないが便宜上、地表水の割合が高いものを1、地下水の割合が高い方を0とした。選択肢の数が5項目のものについては水循環系の健全性が優れているほうから順に1、0.75、0.5、0.25、0を入力し、選択肢が3項目の設問に関しては、1、0.666、0.333を入力データとした。

SOMのマップサイズについては、最適なマップサイズを決定する手法がいくつか提案されているが^{(5),(6)}、現状では、それを決める明確な基準はない。また、一般的にはマップサイズが小さすぎると、表現できるパターンが少なくなること、また、逆に大きすぎると、各ニューロンに含まれるサンプルの数が少なく、表現されたパターンに信頼性がなくなることにも注意を払う必要がある。基本的にはマップの全ニューロン数は、学習サンプルの数（本研究では回答のあった全自治体数）よりも少なくしてはならない。従って、本研究では、286自治体のサンプルをその半分程度（マップサイズ：12×12）のパターンで表現することにした。分類された結果はU-matrix法⁽⁷⁾に基づいて、図-2のようにコンターマップで表示される。色が濃いほどニューロン同士の類似度が大きいことを示している。マップを見ると、類似した性質を持つグループ（色の濃いグループ）が6つ確認できる。各グループの特徴を評価した結果、表-2のようにまとめることができた。これまでの、水循環の健全性を評価する指標は考えられていたものの、実際にグループの特徴を示したものはなく、表-2のような提案は今後の水循環系の健全性を考える上で非常に有用なものと思われる。また、各グループの地理的特徴を地図等で調査した結果、A、B：主に中山

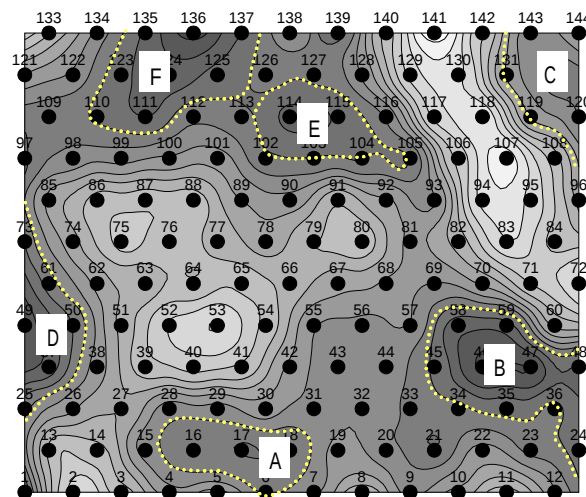


図-2 アンケート調査結果によるSOM分類結果。

表-2 アンケートによる分類結果の各グループの特徴。

	グループの特徴
A	治水，利水，環境の状況がともに良好である
B	利水状況は良好であるが，治水や親水性の状況がやや劣る
C	治水状況は良好であるが，利水と環境の状況がともに悪く，特に自己水源比率が極めて低い
D	治水，利水，環境の状況がともに良好であるが，土砂災害にやや問題がある
E	自己水源比率は低いものの，広域利水供給システムがないため給水制限が度々生じ，治水や親水性の状況も悪い
F	治水，利水，環境の状況がともにほぼ良好であるが，水文化に関する活動，水辺のアクセス性に乏しい

間地に位置する自治体，C：島嶼部の自治体，D：大河川の上流となる山地部に位置する自治体，E：海沿いの山地にある自治体，F：大河川の流れる平野部にある自治体という傾向がみられた。これらのグループに入っていない自治体は、例えば、グループAとグループBの中間付近に分類された自治体は、AとBの中間的な特徴であることを示していると推測される。

(2) 統計データのみによる分析

アンケートによる分析とは別に、客観的データのみで水循環系の健全性を評価するために、公開されている統計データのみによるSOM分析を行った。統計データ項目は、基礎データ項目と取得方法例⁽⁴⁾、水循環系の状態を規定する要因指標例⁽⁴⁾を参考に、自治体による偏りを避け、より実用的なものとするためすべての自治体で公開されているものを選択した。採用した統計データの項目は以下の8項目である。人口一人あたりの総土地面積⁽⁸⁾、一人当たりの林野

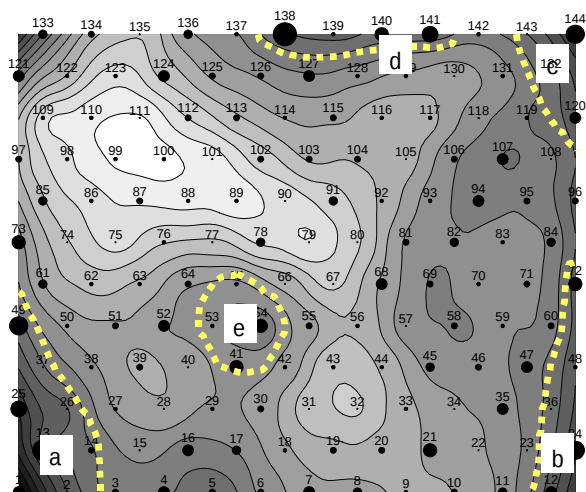


図 - 3 統計データによる SOM 分類結果 .

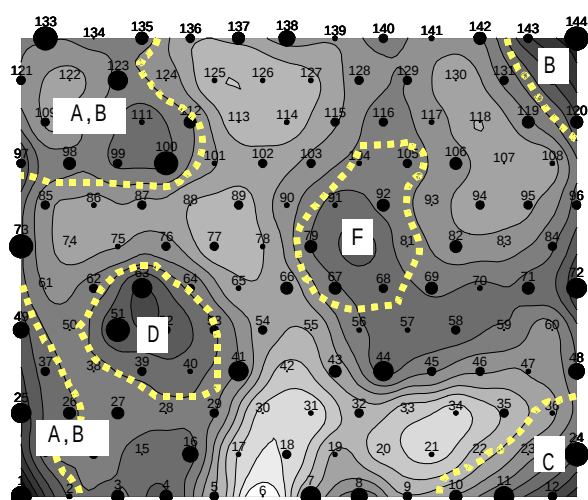


図 - 4 アンケート調査結果と統計データによる SOM 分類結果 .

面積⁸⁾，一人当たりの耕地面積⁸⁾，上水道普及率，下水道普及率，標高，水資源賦存量，年間降水量である．標高データは各市町村の役場での標高を国土数値情報より取得した．これらの統計データは水循環系の評価には直結しないものの，産業構造や都市化，市町村の地理的特徴，水資源の豊富さを表す指標になると考え評価を行った．

286 の自治体について統計データ 8 項目を入力データとして SOM による分析を行った．入力データへの分類結果を図-3 に示す．類似した性質を持つグループ（色の濃いグループ）が 5 つ確認できた．a~e の各グループの特徴を評価した結果，表-3 のように分類することができた．統計データでのグループの特徴を決定する際に考慮した点は，まず，人口一人当たりの総土地面積，林野面積，耕地面積が低い地域は，一般に都市化が進行していると考えられる．しかし，実際にはそれらの市町村でも上下水道の普及率が低く都市化が進行しているとは言えない地域も多数あり，都市化の進行については上下水道の普及率を指標とした．

表 - 3 統計データによる分類結果の各グループの特徴 .

	グループの特徴
a	都市化が進行しておらず，水資源賦存量が高い 土地利用において林野，耕地の占める割合がともに大きい
b	都市化が進行しておらず，水資源賦存量が比較的高い
c	水資源賦存量は比較的高い 土地利用において林野，耕地の占める割合がともに低いが，下水道普及率も低いいため，都市化が進行していない
d	都市化が進行しており，水資源賦存量が低い
e	都市化が進行しておらず，水資源賦存量が高い 土地利用において，耕地の占める割合が大きい

また，水資源賦存量はこれが高い地域と低い地域で分類した．

各グループの地理的特徴については，地図を併用し，役場所在地を基本に標高が高い市町村は山間部，低ければ海沿いもしくは平野部の地域と判定した．また，一人当たりの林野面積が大きいところは林業，耕地面積が大きいところでは農業が盛んであると判断した．その結果，各グループの特徴を以下のように分類した．a：山間部にあり，農林業が盛んな自治体，b：海沿いにあり，農業が盛んな自治体，c：内陸部にある自治体，d：平野部にある自治体，e：海沿いにあり，農業の盛んな自治体である．

(3) アンケート調査結果及び統計データによる分析

アンケートにより分類された各グループの自治体が，アンケート結果と統計データの 2 つを用いて SOM による分析を行うとどのように分類されるかを検討した．ここでの各グループ（A～F）の特徴は，表-2 で示したアンケート結果のみによるグループ分類を用いた．図-4 はアンケート調査結果と統計データによる SOM 分類結果を示している．C，D，F グループについて分類された自治体は，今回もほぼ同一のグループに分類された．このグループに入った自治体は，アンケート結果，統計データともに同じ傾向を示す類似した自治体であった．一方，図-2 中で分類された A，B，E グループについては，図-4 中ではそれぞれが分散した．これらの自治体の入力データは，アンケート項目については類似しているものの，統計データが異なるため分散したと考えられる．さらに統計データの中味を詳しく見てみると，特に，人口一人あたりの総土地面積や土地利用に大きな違いがあった．この A～F のグループは表-2 に示したアンケート結果によるグ

ループ分類と同一のものである。

具体的に、熊本県の菊池市と山鹿市を見てみると、両市はともに地理的にも近く、非常に風光明媚な土地で、河川水量が豊かできれいな水郷として知られる地域である。これらの市町村は統計データのみによるSOM分析では非常に似通った傾向が見られたが、アンケート結果と統計データによる分類では違いが見られた。これはアンケートの治水に関する項目の回答で、両市において表—1の2にある河川の氾濫頻度、排水不良等の浸水被害頻度、土砂災害の発生頻度に違いがあり、SOM分析結果にその差が現われたためである。菊池市では治水、利水、環境ともに良好な結果が得られ、山鹿市では利水や環境は良好で、治水のみやや劣るといった結果が得られたため、山鹿市では、水循環系の健全化に向けて最初に講じるべき改善点は、治水分野であると考えられた。このように、地理的に類似している地域や統計データによると共通点が多く見られる複数の自治体で、水循環系における相違点等を比較することにより、重点的に改善すべき課題を見出すことができる。またアンケートは回答者の水循環系に関する知識によって差異があることが考えられるため、客観的な統計データと組み合わせることは意義があると考えられる。

5. 結論

本研究では、九州の自治体を事例として水循環系の健全性に関するアンケートを実施し、水循環系の現状を評価する試みとしてSOMを用いた手法を提案した。その分析結果をもとに水循環系の現状について分類し、グループの特徴を明らかにした。高度な知識や詳細なデータを要しない比較的簡単に回答できる水循環系のアンケート結果をSOMで分析することによって、水循環系の健全性の特徴を分類・評価することができた。また、全ての自治体で入手が容易な統計データによるSOM分類を行うことによって、地理的特徴や都市化、水資源賦存量の特徴を分類することができた。

これまでの水循環系に関する調査・研究等は、得られた結果に対する主観的な議論が多かった。本研究では、アンケート調査の質問項目には、制作者側の若干の主観が入るものの、その分析はSOMという客観的な手法で行い、水循環系の健全性を定量評価する試みを行った。今回は3パターンによるSOM分析を行い、どのパターンが最も良く水循環系の健全性を評価できるかの検討を行った。その結果、客観データである統計データのみによるSOM分析では、水循環系の健全性を表す指標の一つである環境関連のデータの欠如により、治水、利水、環境をバランスよく評価できなかった。現在のところ、アンケート調査結果に統計データを加

味したSOM分析が、水循環系の健全性を定量的に評価する最もすぐれた手法の一つと考えられた。

SOM分析結果によって、類似した特徴をもつグループを確認することができたが、このグループに属さない自治体については、マップ上で近くにあるグループの特徴に近い性質を示すと推測され、個々のニューロンの性質を調べることによって、特徴を示すことができると考えられる。

今後、分類結果をもとに水循環系に関する現地調査を行い、今回の分類結果を検証し、本研究で分類された結果が妥当なものであるかどうか、また、都市化や開発等による水循環系への影響を調査する必要がある。

本研究では、比較的容易に回答できるアンケートや、入手が容易な統計データを用いることによって水循環系の健全性の現状を評価する試みを示すことができた。しかしながら、水循環系の解明および健全性の向上には、住民と行政の水循環系に対する意識の共有、地域の実情や行政上の課題等をどう解決するかが重要である。本研究での知見は、今後の健全な水循環系を考える上で、住民と行政の水循環系の意識の共有を図る端緒になると期待される。

謝辞：本論文の作成にあたり、九州大学工学部地球環境工学科4年大石哲也氏（現、福岡市役所）には多大なご協力をいただきました。ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 新井田浩：健全な水循環系の構築に向けた将来像と対策手法に関する研究，九州大学学位論文，2005.
- 2) 徳高平蔵，藤村喜久郎，岸田 悟：自己組織化マップの応用 - 多次元情報の2次元可視化，海文堂出版，1999.
- 3) 徳高平蔵，藤村喜久郎，山川 烈：自己組織化マップ応用事例集，海文堂出版，2002.
- 4) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議：健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて，2003.
- 5) Kiviluoto, K.: Topology preservation in self-organizing maps, Technical Report A29, Helsinki University of Technology, Laboratory of Computer and Information Science, 1995.
- 6) Hilario Lopez Garcia, Ivan Macon Gonzalez : Self-organizing map and clustering for wastewater treatment monitoring, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.17, pp.215-225, 2004.
- 7) Ultsch, A., Siemon, H.P. : Kohonen's self organizing feature maps for exploratory data analysis, Proceedings of INNC'90, International Neural Network Conference, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands, pp.305-307, 1990.
- 8) 農林水産省：わがマチわがムラ—市町村の姿—，2000.

(2005.9.30受付)