環境規制と廃水処理技術による水質改善の発展段階の特定 - 自己組織化マップによる実証分析 -

藤井　秀道[1]・佐々木　稔[2]・馬奈木　俊介[3]・金子　慎治[4]

1非会員　東北大学大学院環境科学研究科　（〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20）
E-mail:hidemichifujii@gmail.com
[2]非会員　茨城大学工学部　（〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1）
E-mail: msasaki@mx.ibaraki.ac.jp
[3]非会員　東北大学大学院環境科学研究科　（〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20）
E-mail:managi.s@gmail.com
[4]正会員　広島大学大学院国際協力研究科　（〒739-8529　広島県東広島市鏡山1-5-1）
E-mail:kshinji@hiroshima-u.ac.jp

本研究では，河川や湖沼の水質変化の背後にある廃水処理技術の進歩や，技術開発を促す制度・政策の影響に着目し, 我が国の水域の水質変化の要因を特定することを目的とする. 分析対象期間は1974年から2004年の31年間であり，自己組織化マップで特定された段階別に，廃水技術特許数や水質改善を目的とした装置生産規模を比較し，どのような要因が水質変化に影響を与えているかの考察を行う．分析結果より，1970年代後半は，下水道処理に関連した装置の普及によって河川・湖沼の水質改善を達成しことが示唆された．さらに1995年，1996年では，廃水処理設備に関する技術開発や，下水，し尿，汚泥の処理装置の普及によって河川の水質が大幅に上昇する結果が得られた.

Key Words : *self-organizing map, wastewater abatement technology, environmental regulation, environmental patent*

1. 背景と目的

我が国における廃水処理関連の環境規制は1958年の水質二法にはじまり, 様々な法令規制の制定・改正を経て，精査されてきた．その過程では，工業廃水の水質汚染に起因した水俣病やイタイイタイ病(共に1968年に公害認定)などの公害問題を経験しており，1970年の水質汚濁防止法の制定や公害対策基本法の改正を通じて工業廃水処理の管理を進めてきた．工業廃水や生活排水による河川・海洋汚染が深刻化した1960年，70年代に多くの環境規制が制定・改正され，また1980年代では，生活排水による水質汚染防止を目的とした動きが強い．1990年から2000年にかけては，生態系の保全などの環境影響も考慮した政策が数多く定められている．さらに1999年の化管法制定に伴い，PRTR制度(Pollutant Release and Transfer Register：化学物質排出移動量届出制度)が制定され，企業は工場などから排出される化学物質を行政機関に届け出ることが義務付けられた．このPRTR制度は事業者が対象化学物質の排出量・移動量を自ら把握し自主管理を推進することを一つの目的としており，排出を直接的に規制するものではない．しかし，近年では消費者や工場近辺の住民の化学物質に対する関心が高まっているため，PRTR制度により，事業所での自主的な汚染対策の実施が期待できる(藤井他，2008)[1].

これまで, 我が国の水質汚染に着目した分析は海洋工学や河川工学などの分野で数多く行われてきた．多くの文献で，過去の日本の河川や湖，湾の水質変化を明らかにしている(Hosono et.al., 2010[2]; Miller et.al., 2010[3]; Irizuki

et.al., 2011[4]). その一方で，水質変化の背後にある廃水処理技術の進歩や，技術開発を促す制度・政策の影響にまで言及した研究は見られない.

しかし，なぜ水質が改善したのか，さらにその改善が達成されたときに，どのような要因が重要であったのかを明らかにすることは，今後工業化が加速する新興国や途上国の公害防止を効果的(経済的)に達成するうえで，重要である．こうした要因を明らかにするためには，水質改善が達成された前後において，どのような廃水処理技術(廃水処理特許)や環境規制が変化したのかを，包括的に考察する必要があると考える.

先行研究より，製造業企業の環境保全能力は公害対策や環境アセスメントなどを通じて得られる知識と経験を蓄積することで発達すると考えられており，その発展段階には一定のプロセスが存在すると考えられている(金原, 2008)[5]. 企業の環境保全活動に関する発展段階については，これまでに多くの研究が行われてきた．**表-1**は環境経営の発展段階に関する先行研究をまとめたものである.

表-1 環境保全能力及び成熟度の段階に関する先行研究一覧

著者	発展段階のステージ	分析対象
UNCTAD (1993)[6]	1. Compliance oriented (reactive) 2. Preventive (learn and precautionary) 3. Strategic (opportunity seeking) 4. Sustainable development	Worldwide, industrialwide, 210 multinationals, survey
Elkington (1994)[7]	1. Ignorance 2. Awakening 3. Denial 4. Guilt reduction, tokenism 5. Conversion 6. Integration	Worldwide, industrialwide, case study
Crosbie and Knight (1995)[8]	1. Do nothing / Defensive posture 2. Social responsibility 3. Strategic opportunity 4. Sustainable business	N.A. (Conceptual)
Vermaak (1995)[9]	1. Public opinion 2. Government pressure 3. Quality management 4. Liability reduction 5. Cost efficiency 6. Pollution prevention pays 7. Green marketing and promotion 8. Chain management 9. New business development 10. Sustainable positioning	N.A. (Conceptual)
Ehrenfeld (1998)[10]	1. Business as usual 2. Compliance 3. Prevention 4. Sustainability	N.A. (Conceptual)
Lee and Rhee (2005)[11]	1. Ignorance 2. Compliance (End-of-pipe type) 3. Strategic compliance (pollution prevention with end-of-pipe) 4. Pollution prevention for competitive advantage	Korea, 27 Pulp and pepar industry companies, Interview surveys

(出典) Kolk and Mauser (2002)[12]に著者が加筆修正

これらの先行研究の結論で共通しているのは，企業の環境保全に対する姿勢が「無関心」⇒「受身的・消極的」⇒「積極的」というプロセスで成熟しており，さらに積極的に環境保全に取り組むことで長期的には市場競争力が向上するとした部分である．しかしながら，先行研究の多くは発展段階の概念を提示したものや，ケーススタディーとして個別の企業の環境経営を取り上げたものであり，汚染対策技術に着目した定量的アプローチでの研究は少ない.

こうした状況を踏まえ，本研究では，我が国の水質汚濁防止の歴史的な背景を鑑み，廃水処理特許や環境政策の傾向を踏まえた水質改善効果を考察することで，日本がどのように水質改善を達成してきたかを明らかにする．本研究の特色として，これまでの先行研究で着目されてきた，環境技術や環境政策から水質の変化を考察するのではなく，水質の変化によって発展段階を特定し，各段階での技術や政策のありかたにどのような違いが生じているかを明らかにする点が挙げられる．特に，水質変化の因果性を「技術・政策」⇒「水質変化」の演繹的な経路ではなく，「水質変化」⇒「技術・政策の変化」という帰納的な経路によって，分析を行う分析フレームは，独自性があると考える.

2. 分析方法

(1) 分析フレームワーク

本研究では，水域の水質の段階を次の 3 つの要因によって特定を行う．一つ目は，水質であり，河川や湾，湖の水質データを用いることで考察する．二つ目は，環境規制であり，水質汚染を引き起こす工業廃水や生活排水を防止する目的で施行・改正された法規制の影響を用いる．ここで，環境規制を定量的に扱うことが困難であることから，本研究では，環境規制の影響については規制の強度を反映するために，Hamamoto(2006)[13]を参照し，環境規制の影響と汚染対策設備の生産規模には強い相関があると仮定し，環境省の環境統計集各年版より，水質汚濁防止装置の生産規模を環境規制の強度の代理変数として適用した．三つ目は，廃水汚染対策技術であり，特許取得数によって測定する．これら三つの要因の変化を時系列で考察することにより，日本の水質変化がどのような段階を経て，改善してきたかを明らかにする．**図-1**は本研究の分析フレームワークを示したものであり，前述した 3 つの要因の相互関係を表す.

一般的に，環境技術特許の需要は環境規制によって影響を受けるため，技術の開発及び普及は環境規制の強度と強く関係していると言える．一方で，八木・馬奈木(2008)[14]で取り上げられているように，企業の環境技術が環境規制に影響を与えるという仮説も存在する．これは，

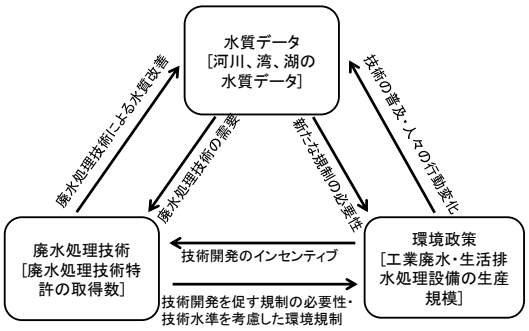

図-1 分析フレームワーク

企業の技術水準が低い段階で，厳しい環境規制を課すことにより，汚染対策費用が増加し結果的に国際市場における競争力の低下を招く可能性があるため，政府は企業の環境技術水準を考慮しながら環境規制の施行・改正を進めているとする考え方である．我が国の環境規制における審議会においても，企業の汚染対策費は規制強度を考える上で重要であるとされており，この関係性を裏付ける．

また，水質データの悪化は，新たな環境規制や技術開発の必要性を高める．そして，技術の開発はより安価で容易な水質改善を可能とし，新たな環境政策は技術の普及や人々の環境行動を促す方向に寄与すると考える．

こうした点を踏まえて，我々は水質データの変化が，環境規制や廃水処置技術によってどのように影響しているかを明らかにすることを目指す．

(2) 自己組織化マップ

自己組織化マップとは，Kohonen(1982)[15]が提唱した教師なし学習に基づくニューラルネットワークモデルによる分析手法である．この手法は複雑な多次元データに対し，データの関連性を手がかりとして各データを低次元空間(多くの場合 2 次元平面)への配置を行う．しかし，主成分分析のように重要な特徴軸を求めるのではなく，低次元空間内の各領域にデータの特徴を割り当て，各データを最も類似する特徴領域に配置する．このとき，隣り合う領域には類似した特徴が並ぶようにデータ集合を利用して学習を行う．これにより，データ集合が持つ様々な特徴を直感的に分かりやすいように低次元空間内に配置させることが可能である．

この手法を使うことで，データ集合全体の特徴分布を可視化することができる．複雑なデータ集合でも全体的な位置付けが直感的に理解できるため，テキストやデータを用いて景気動向に関する分析や，経営分野における顧客関係管理の調査をする目的などで使われている．しかし，分析しやすく可視化できる特長がある一方で，同一データでも分析結果が一意に定まるとは限らない場合がある．特徴領域の初期値やデータを読み込む順番が異なるとデータの配置が変化することがある．ただ，細かい配置の異なりは生じるものの，類似するデータは近い場所に，異なるデータは離れた場所に配置される結果が得られる傾向をもつのは同じである．

自己組織化マップのモデルは入力層と出力層から成り，入力層では各データを表す高次元ベクトルを取り込み，出力層に伝わる．出力層では指定された数の領域に対応した重みベクトルが存在し，入力データとの類似度が最も大きい重みベクトルは入力データに近づくように重みの更新が行われる．このとき，周辺の重みベクトルにも影響を受けるように同様に重みの更新を行う．この処理をデータ集合のすべてのデータについて，指定した回数繰り返して重みベクトルの最適化を行う．最後は，データ集合の各データを最適化された特徴領域に配置し，分析結果として出力する．

本研究では，各年次における水質汚染状態の変化を分析するために，使用するデータに対して自己組織化マップを利用し，2 次元平面を 10×10 に分割した合計 100 個の領域に配置する．分析の前処理として，使用するデータ集合に対して正規化を行い，データをベクトル化した際の長さを統一する処理を行った．また，自己組織化マップを利用する際に指定する繰り返し学習の回数は 10,000 回として，特徴分布の学習を行った．

3. データ

分析に用いる特許データは，(株)野村総合研究所のNRIサイバーパテントデータベースより作成した．特許データには特許取得数を用いており，各技術別に抽出を行った．抽出した特許データは，特許申請年度が1974年から2004年の範囲のものである．各特許に与えられている特許分類コード(File index)を，Organization for Economic Cooperation and Development[16]が公開している環境特許分類に照らし合わせることで廃水処理技術特許を分類した．分析には，廃水処理技術の総取得数と四つ特許分類に着目して推計を行う．四つの分類は，(1)水，廃水または下水の生物学的処理(以下，生物学的処理)，(2)上水または排水用の家庭用配管設備(以下，配管設備)，(3)汚泥の処理，(4)水，廃水または下水の処理(以下，処理設備)であり，これら四つの特許分類が全特許取得件数に占める割合は92%である．特許データの年には，技術開発の時期が直接的に反映されるように，特許申請の年を適用した．

次に環境規制と水質汚染のデータについて説明する．環境規制の変数は，廃水に関連した法規制の施行もしくは改正を行った回数を用いている．また，水質汚染のデータは，各企業の工業廃水データを長期で得ることが困難であることから，総務省統計局が公開している日本の長期統計系列よりデータを作成した[17]．使用した変数は，水

域全体の水質環境基準達成率であり，BODやCODの汚染強度が反映されたデータである．水質データは河川，湖沼，海域の3つに区分されており，それぞれ観測地点の平均値で計算されている．この平均値とは別に，5つの海域(東京湾，伊勢湾，瀬戸内海，大阪湾，その他海域)と全体のデータも公開されていることから，本研究では，上記9つの水質データを用いて分析を行った．

最後に，環境規制の影響を表す指標として，水質汚濁防止装置の生産規模(百万円)を使用する．装置は，(1)設置総数全体，(2)産業廃水処理装置，(3)下水汚水処理装置，(4)し尿処理装置，(5)汚泥処理装置，(6)海洋汚染防止装置の6つに分類されたデータを適用する．金額データはすべて，企業物価指数を用いて2000年価格に基準化している．分析対象期間は1974年から2004年の31年間である．

4. 分析結果

(1) 自己組織化マップによる段階の特定

本研究の分析から得られた結果を**図-2**，**図-3**に記す．**図-2**は，各年代における河川，湖沼，海域の水質水準の分布によって分類された結果である．各領域に記されたグラフは，左から河川，湖沼，海域平均，東京湾，伊勢湾，瀬戸内海，大阪湾，その他海域の水質を表しており，グラフの数値が大きいほど(上に行くほど)水質が良いことを意味している．水質基準は-3から3の間に正規化されており，右の列に行くほど全体の水質が高くなるように各領域が設定されている．

図の縦軸はグラフの形状の違いを反映している．**図-2**の1段目はグラフの左端に位置する河川，湖沼と，右端に位置する瀬戸内海，大阪湾の水質が低く，中央部に位置する東京湾，伊勢湾の水質が良いとするグラフ形状を集めた段である．逆に10段目では両端に位置する河川やその他海域の水質が良く，グラフ中央部の東京湾や伊勢湾の水質が悪い形状を集めた段となっている．これらの多様な領域を設定し，各年のデータがどの領域に最も適合するかを推計し，当てはめた結果が**図-2**である．**図-2**中のn=1と書かれている部分は，その領域のグラフに適合するサンプル(年データ)が1つ存在することを意味する．

図-2で分類された各領域の特性をマップに展開したものが**図-3**である．**図-3**の数字は年を示し，横軸と横軸は**図-2**と共通であり，横軸は**図-2**の列数を，縦軸は**図-2**の段数を表している．例えば，**図-3**中の右下に位置する2003年のデータは，**図-2**の下から1行目，左から10列目のグラフに適合していることを表す．

図-3の分析結果より，1974年から1976年にかけて，徐々に右上方向にシフトしているのが分かる．従って，この期間では水質基準が全体的に改善し，その中でもグラフ中央部に位置する東京湾や伊勢湾の水質が大きく改善されている．また，さらに1978年から1979年にかけて大きく右方向にシフトしたことから，全体的な水質改善が達成されており，さらに1980年代では，マップ中の上部 (y≧5)に位置する傾向が強く，グラフが逆U字型の形状となっている．従って，この間は，河川や湖沼に比べて海域の水質が上昇した期間であることが分かる．

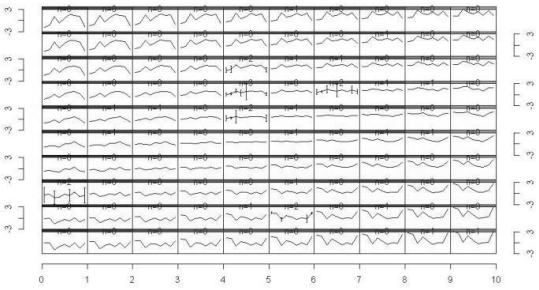

図-2 自己組織化マップによる区画分け結果

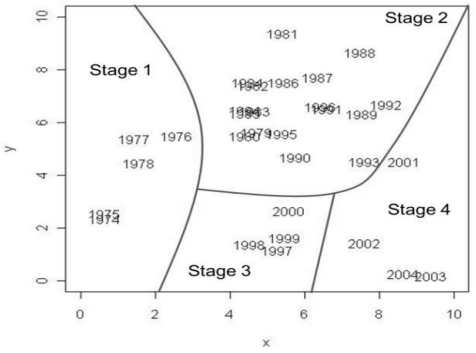

図-3 各年の水質変化に基づく段階(Stage)の分類

一方で，1996年から1997年にかけて大幅に下方向に移動しており，この間に河川の水質が大幅に改善したことが伺える．データより，この期間に河川の水質基準達成率は73.6%から80.9%に急上昇しており，この上昇が下方向へのシフトの要因となったと言える．2000年から2001年，2001年から2002年にかけての移動が大きいが，これはその他海域の水質基準達成率が79%(2000年)，43%(2001年)，86%(2002年)と大幅に上下したことと，湖沼の水質が大幅に上昇したことが要因として挙げられる．

本研究では，**図-3**の分析結果より，1974年から2004年を，1974-1978 (Stage 1)，1979-1996 (Stage2)，1997-2000 (Stage3)，2001-2004 (Stage4)と4つの段階に分類する．

(2) 段階別での技術と政策の比較

自己組織化マップによって分類された分析結果では，位置が大幅にシフトするときには，水質が大きく変化してことを示しているが，その背景には技術的もしくは政

策的影響による水質改善取り組みの効果が存在していると考える．従って，本節では，上記で設定した段階が切り替わるタイミングに着目することで，水質汚染防止技術と環境規制の影響について考察を行う．ここで，段階が切り替わるタイミングとして，各段階の最終年度から2年間のデータが影響していると仮定し，推計を行う．2年間としたのは，技術の開発から使用，もしくは設備の生産から利用までは1~2年間のタイムラグが存在すると考えたためである．この場合，Stage1からStage2への切り替わりにはStage1の最終年度である1978年と，その前年の1977年の技術や環境政策が強く影響するとした設定である．本研究では，この切り替わりに影響したと考えられる年の技術・装置生産データと，同じ段階内での他データとの比較を行い，水質データが変化した要因を探る．

表-2から**表-4**は，Stage 1, 2, 3での段階の切り替わりのタイミングに着目した表である．**表-2**は，Stage1の分析結果であり，技術別の特許取得数と用途別の装置生産規模を比較した表である．それぞれの数値は，年平均の値を示している．また，各段階の最終年度とその前年度のデータと，その他の期間のデータとの間に統計的な差が生じているかを確認するため，Studentのt検定を行った．

表-2より，Stage1の後半においては，下水汚水処理装置の生産規模が，他の期間に比べて統計的有意に大きくなっており，下水処理能力が高まったことが伺える．従って，Stage1からStage2への移行の背景の一つとして，下水処理能力の向上により，工場・生活廃水による河川や湖沼の汚染が緩和されたことが示唆される．加えて，公共下水道普及割合(面積)が1978年から1979年にかけて89%から93%に上昇しており，広範囲における下水道処理が可能となったことがデータからも確認できる．

一方で，総特許数や汚染設備技術特許数，さらに産業廃水処理装置の生産規模は1976年以前で，より活発に開発・普及していることが分かる．これは，1972年の水質汚濁防止法の改正や1973年の化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律の施行に伴い，企業が早急に水質汚濁の防止に取り組む必要があり，1974年から1976年の間に開発や投資が集中したことが理由として挙げられる．

表-3より，1995年と1996年の水質改善技術特許の開発と汚染防止装置の生産規模は，海洋汚染防止以外のすべての項目で1994年以前の数値に比べて大きい値を取っており，多くの項目で統計的有意な差が生じているとする結果が得られた．特に，装置生産規模では，数値が倍近く異なっており，1995年と1996年に水質汚染防止を目的とした設備投資が進んだことが分かる．この背景に，1989年と1990年の水質汚濁防止法の改正，1993年の環境基本法，1994年の水道水源特別措置法と水道原水保全事業法の施行が挙げられる．これらの環境政策により，生活及び工業廃水処理の改善が全体的に促され，技術開発や設備投資を進める要因となったと考えられる．

表-2　特許取得数と装置生産規模の比較 (Stage 1)

		1974 - 1976	1977 - 1978	t検定
特許取得数(件)	総特許取得数	2,908	2,346	*
	生物学的処理	477	477	
	配管設備	68	95	
	汚泥の処理	449	429	
	処理設備	1,520	1,017	***
装置生産規模(百万円)	総設置規模	333,993	373,669	
	産業廃水処理装置	103,329	60,938	**
	下水汚水処理装置	112,632	178,843	**
	し尿処理装置	36,750	46,795	
	汚泥処理装置	42,548	40,068	
	海洋汚染防止装置	2,455	2,994	

(注) *,**, ***はそれぞれ10%, 5%, 1%水準で有意を示す.

表-3　特許取得数(件)と装置生産規模(百万円) (Stage 2)

		1979 - 1994	1995 - 1996	t検定
特許取得数(件)	総特許取得数	3,235	4,714	**
	生物学的処理	529	657	**
	配管設備	592	753	
	汚泥の処理	419	474	
	処理設備	1,458	2,466	**
装置生産規模(百万円)	総設置規模	360,842	623,037	***
	産業廃水処理装置	60,918	62,974	
	下水汚水処理装置	153,531	292,371	***
	し尿処理装置	49,058	89,859	***
	汚泥処理装置	65,158	131,205	**
	海洋汚染防止装置	2,723	1,311	

(注) *,**, ***はそれぞれ10%, 5%, 1%水準で有意を示す.

表-4　特許取得数(件)と装置生産規模(百万円) (Stage 3)

		1997 - 1998	1999 - 2000	t検定
特許取得数(件)	総特許取得数	5,147	5,840	
	生物学的処理	641	661	
	配管設備	728	1,003	
	汚泥の処理	614	817	
	処理設備	2,715	2,865	
装置生産規模(百万円)	総設置規模	717,898	762,812	**
	産業廃水処理装置	81,210	92,215	
	下水汚水処理装置	373,397	379,672	
	し尿処理装置	83,951	73,058	
	汚泥処理装置	139,207	157,146	
	海洋汚染防止装置	9,001	831	

(注) *,**, ***はそれぞれ10%, 5%, 1%水準で有意を示す.

表-4では，二期間の数値に大きな違いが見られず，総設置規模のみ統計的有意に異なる結果が観測された．従って，Stage3からStage4へのシフトは，技術的・政策的影響が大きく変化したものではなく，技術開発や水質汚濁防止装置の設置が徐々に進められた結果，河川や湖沼の水質が改善したと言える．特に，この時期の装置は1970年代に比べて技術レベルが高いと考えられるので，装置の更新などにより，水質の改善が達成されたと考える．

表-5 発展段階別の特徴のまとめ

年	環境政策	水質汚濁防止装置の生産規模	特許取得数の変化	水質の変化	発展段階
1974-1978 (Stage1)	瀬戸内海環境保全臨時措置法(1974年), COD総量規制(1978).	下水処理設備の生産規模拡大.	各技術の特許数に大きな変化は見られない.	河川と海域の水質改善, 湖沼は水質悪化.	下水道処理設備の普及による河川・海域の水質改善期.
1979-1996 (Stage2)	水質汚濁法改正(1989, 1990, 1996), 環境基本法(1993), 水源二法(1994), 下水道法改正(1996).	下水, し尿, 汚泥処理設備の生産規模が2倍に増加.	化学製品生産業, 電気機器製造業で処理設備に関する特許技術数が増加.	河川, 湖沼, 湾岸のすべての水域で水質改善.	廃水処理技術改善に伴う全体的水質改善期.
1997-2000 (Stage3)	環境影響評価法(1997), 河川法(1997), 化管法の制定(1999).	海洋汚染防止装置の生産規模が大幅に減少.	汚泥処理の特許技術数が大幅に上昇.	河川・湖沼で水質が緩やかに改善, 海域で水質悪化.	汚泥処理の整備による河川水質改善期.
2001-2004 (Stage4)	化審法の改正(2003), 土壌汚染対策法(2004).	全体の生産規模が縮小傾向, 総設置数の生産規模2001年から2004年にかけて22%縮小.	機械製造業・窯業の廃水処理設備に関する特許取得数が増加.	河川, 湖沼の水質が大幅に改善. 海域の水質は悪化.	生活・工業廃水処理技術向上による河川・湖沼の水質改善期.

表-5は，自己組織化マップによって分類された段階別に，水質の変化，環境政策，水質汚濁防止装置の生産規模，特許取得数の変化と，これらを総合的に考察することで特定した発展段階をまとめた表である．

Stage 1では，下水道処理に関連する設備の生産が増加しており，下水道処理の普及が進んだことが推測できる．一方で，水質改善を目的とした特許取得数については，変化は見られず，技術進歩が大幅に進んだとは言えない．水質の変化から，河川と海域の水質が改善していることから，Stage 1では下水道処理設備の普及によって，工業・生活廃水処理が進み，水質が改善した時期であることが示唆された．

次にStage 2では，水質改善を目的とした重要な環境政策の制定・改正が行われている．加えて，水質汚濁防止装置の生産規模も増加しており，下水，し尿，汚泥処理の装置は1979年から1996年にかけて，倍増している．さらに，技術開発も進んでおり，化学製品製造業や電気機器製品製造業で処理設備に関する特許技術取得数が増加している．最後に，国内水域の水質は全体的に改善していることから，Stage 2は，環境政策，水質汚濁防止装置の生産規模，特許取得数の増加によって，全体的に水質が改善した時期であると特定できる．特にStage 2からStage 3へ移り変わる要因の一つである河川の水質環境基準達成率は，1996年から1997年にかけて73.6%から80.9%に上昇しており，Stage 2の期間における技術進歩と設備の普及が大きく進んでいることが伺える．

Stage 3では，環境影響評価法や化管法など，アセスメントや情報公開に関する制度設計が進み，企業は自主的(能動的)な環境対策を求められることとなった．加えて，エンドオブパイプでの廃水処理は，汚泥の増加を引き起こすことから，汚染の発生源対策を行うクリーナープロダクション型の取り組みが普及した時期である．この背景には，下水道整備の進展により，下水汚泥発生量が増加し，埋立処分場の確保が困難となったため，1996年の下水道法改正により，発生汚泥等の減量化の努力義務規定を追加したことが挙げられる．

こうした政策や企業の取り組みの変化は，汚泥処理に関する技術の需要を拡大させ，汚泥処理の特許技術開発を促したと考える．さらに，これらの変化は，**表-1**で論じられる発展段階論の中の「受け身・消極的」から「積極的」に企業の意識がシフトする概念と類似していることから，Stage 3の時期において，我が国の廃水処理に対する姿勢が変化した時期であると考える．

最後に，Stage 4について考察を行う．この時期には化審法が改正され，生態系への影響も考慮した化学物質管理が定められたことから，水生生物が多く生息する河川への廃水の処理が促進された．特許技術では，機械製造業や窯業での廃水処理設備に関する技術開発が進んでおり，生活・工業廃水の処理技術が進歩した時期であると言える．

一方で，この時期には河川の水質基準達成率は85.1%(2002年)まで達しており，水質改善を積極的に進める必要性が緩和されたことから，新たな設備投資のインセンティブが減少し，装置の生産規模が減少したと考える．これらの傾向から，Stage 4は，廃水処理の技術開発は進んだが，その技術の普及は必要性の低下から緩やかになった時期であると言えよう．加えて，河川の水質改善を達成した時期であり，その背景として，化審法改正による生態系保全の観点から企業がモニタリングや廃水処理を積極的に進めたことが指摘できる．

5. 結論

本研究では，国内における水質，廃水処理技術，環境政策に着目し，水質変化への影響を自己組織化マップにより行った．本研究の結論を以下にまとめる．

1. 1970年代後半は，下水道処理に関連した装置の普及によって河川・湖沼の水質改善を達成した．
2. 1995年，1996年では，廃水処理設備に関する技術開発や，下水，し尿，汚泥の処理装置の普及によって河川の水質が大幅に上昇した．
3. 我が国の廃水処理の取り組みは，1990年代後半を境に積極的な対策へとシフトしており，その背景として環境アセスメントや情報公開，さらに汚染発生量の制約を課した環境政策が挙げられる．

参考文献

1) 藤井秀道，金子慎治，川原博満，金原達夫 (2008) PRTR換算排出量を考慮した統合生産性の計測 - 国内製造業10業種の比較 - . 環境システム研究論文集 36: 165-172.

2) Hosono, T. Su, C.C. Okamura, K. and Taniguchi, M. (2010) Historical record of heavy metal pollution deduced by lead isotope ratios in core sediments from the Osaka Bay, Japan. *Journal of geochemical exploration* 107: 1–8.

3) Miller, T.W., Omori, K., Hamaoka, H., Shibata, J. and Hidejiro, O. (2010) Tracing anthropogenic inputs to production in the Seto Inland Sea, Japan – A stable isotope approach. *Marine pollution bulletin* 60: 1803–1809.

4) Irizuki, T., Takimoto, A., Sako, M., Nomura, R., Kakuno, K. and Wanishi, A. (2011) The influences of various anthropogenic sources of deterioration on meiobenthos (Ostracoda) over the last 100 years in Suo-Nada in the Seto Inland Sea, southwest Japan. *Marine pollution bulletin* 62: 2030–2041.

5) 金原達夫, 藤井秀道 (2008).『日本企業における環境行動のメカニズム』, 環境科学会誌 21(3): 253-259.

6) UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) (1993). "Environmental management in transnational corporations, research on the benchmark corporate environmental survey." United Nations, New York.

7) Elkington J. (1994). "Towards the sustainable corporation: win–win–win business strategies for sustainable development." *California Management Review* 36(2): 90–100.

8) Crosbie, L. and Knight, K. (1995). "Strategy for Sustainable Business." McGraw-Hill: London.

9) Vermaak, H. (1995). "Strategieen creeren voor groen. Concurreren." *Holland/Belgium Management Review* 45: 80–87.

10) Ehrenfeld, J. R. (1998). "The challenge of sustainability: cultural structure and corporate decision-making, in better environmental decision-making.", edited by K. Sexton, Marcus, A., Easter, K.W. and Burkhardt, T. Washington, DC. Island Press.

11) Lee, S.Y. and Rhee, S.K. (2005). "From end-of-pipe technology towards pollution preventive approach: The evolution of corporate environmentalism in Korea." *Journal of Cleaner Production* 13: 387-395.

12) Kolk, A. and Mauser, A. (2002). "The evolution of environmental management: From stage models to performance evaluation." *Business Strategy and the Environment*. 11: 14–31.

13) Hamamoto, M. (2006). "Environmental regulation and the productivity of Japanese manufacturing industries." *Resource and Energy Economics*. 28: 299-312.

14) 八木　迪幸・馬奈木　俊介 (2008) 環境規制と技術イノベーション：SOX・NOXにおける特許分析. 環境学会誌 21(1).

15) Kohonen T. (1982) Self-organizing formation of topologically correct feature maps. Biological cybernetics 43:59-69.

16) Organization for Economic Co-operation and Development 2009, Environmental Policy Framework Conditions, Innovation and Technology Transfer, OECD.

17) 総務省統計局，日本の長期統計系列，30章環境，http://www.stat.go.jp/data/chouki/30.htm (2012年8月7日アクセス)

（2012. 7. 18 受付）

ANALYSIS OF DEVELOPMENT STAGE OF WATER QUALITY CONSIDERING ENVIRONMENTAL REGULATION AND WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY: EMPIRICAL STUDY USING SELF-ORGANIZING MAP

Hidemichi FUJII, Minoru SASAKI, Shunsuke MANAGI and Shinji KANEKO

This study clarifies the factor of water quality change focusing on the technological development and environmental policy. Research period is 31 year from 1974 to 2004. We apply self-organizing map (SOM) to divide the four stages based on the water quality of river, lake and sea. We compare the number of patents and sales of equipment for water quality improvement by stage which is identified by SOM. Our result shows that sewage technology and equipment contribute to improve water quality in late 1970's. Additionally, we clarify that sewage, night soil, and sludge treatment technology and equipment are important role to improve water quality in middle 1990's.