

(50) 21世紀初頭の首都圏における水環境の予測システム

SYSTEM FOR PREDICTING THE METROPOLITAN WATER ENVIRONMENTS IN THE
EARLY PART OF THE 21TH CENTURY

天野 耕二* 福島 武彦* 原沢 英夫* 中森義輝** 内藤 正明*

Koji AMANO*, Takehiko FUKUSHIMA*, Hideo HARASAWA*, Yoshiteru NAKAMORI**, Masaaki NAITO*

ABSTRACT; A system development for predicting water environments in the metropolitan area of the early 21th century was investigated. The objective area consists of Ibaraki, Tochigi, Gumma, Saitama, Chiba, Tokyo, Kanagawa and Yamanashi, and the objective watershed includes R.Tonegawa, R.Arakawa, R.Tamagawa, R.Tsurumigawa and R.Sagamigawa. In the beginning, we tried to make several future scenarios in 2025 based on social trends and assumed policies. Input variables that should be substituted to the simulation models were calculated from these future scenarios. A simple submodel was used to simulate the pollutant loading into Tokyo Bay, and a fuzzy model was studied to predict the water quality in several small rivers. By using these simulation results, we could estimate many effective political alternatives to protect the metropolitan water environments in future.

KEYWORDS; water environment, metropolitan area, fuzzy prediction model

1 はじめに

首都圏において安全で豊かな水資源を確保する、すなわち水資源の量の確保と質の保全を行うことは、人口集中の著しい首都圏の今後のインフラストラクチャー整備にとって不可欠であり、きわめて重要な国家的課題である。東京周辺の水需要はなお増加傾向にあり、今後の首都圏の開発状況いかんによっては水需要が一段と増加する可能性もある。一方、水資源開発に伴う各種の保全に関わる課題は数多く残されている。特に、河川・湖沼（ダム湖を含む）の水質を改善することは、水の質的確保の観点からも緊急である。

本研究は、首都圏における水資源の長期的な展望に基づいて将来発生するであろう重要課題を予見し、その対策を提案することを目標としている。その提案は単に首都圏のみならず、将来のわが国の水資源に関する課題への展望にもなると考えられる。

2 システムの目的と構造

2.1 予測システムの構造

本システムは、将来の首都圏の社会状況予想をいくつかのシナリオとして示し、それぞれに対応してどのような水環境問題が生じるかを予測、評価する目的で作成された。システムの全体構造は図1に示す通りで、まず、社会的トレンドや各種の対策を考慮した将来予測シナリオを設定し、それぞれのケースで人口、工業出荷額などのモデルへの入力変数を予測する。次に、東京湾への汚濁負荷予測モデルや中小河川の水質予測モデルを動かし、それらを予測する。最後に、こうして得られた東京湾への汚濁負荷量（環境負荷）、中小

* 国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies

** 甲南大学 Konan University

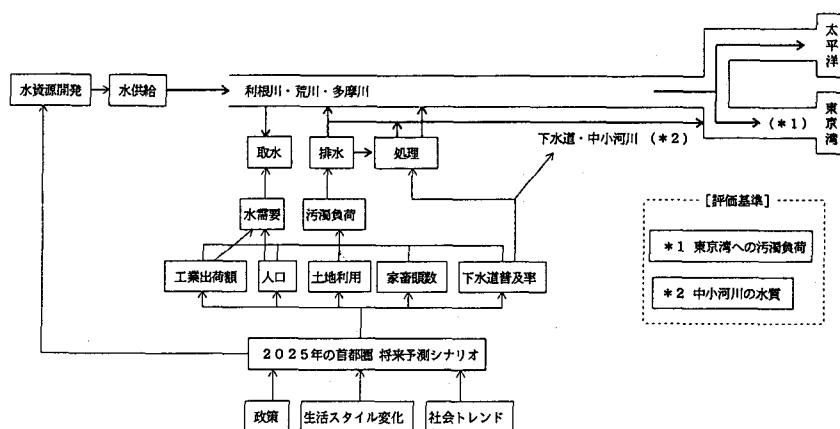


図1 システムの全体構造

河川の水質（親水）、という二つの観点から、各シナリオにおける水環境の問題点を指摘し、提言を行う。
予測年度は西暦2025年とした。

2.2 東京湾への汚濁負荷モデル

東京湾には、利根川から分流している江戸川、荒川、多摩川をはじめとして多くの河川から汚濁負荷が流入している。いわゆる「東京湾流域」を形成する市町村は、栃木、群馬、千葉、神奈川の一部と埼玉、東京のほぼ全域である。このモデルでは、市町村単位で流域指定を行った後、対象となる市町村の人口や出荷額などの基礎数値に排出負荷原単位を掛け合わせて集計することにより東京湾に流入する総排出負荷量の計算を行った。江戸川を通じて東京湾への負荷を排出している市町村については、利根川本流と江戸川との流量比率から一定の流入係数を推定して集計した。

今回のモデル計算に使用した生活系、畜産系、面源系の汚濁負荷原単位の値は昭和55年度に環境庁水質保全全局が全国の湖沼流域を対象として行った負荷量調査で用いられたものを引用した（環境庁水質保全全局編、1983）。浄化槽人口については、単独浄化槽、地域し尿処理施設、合併浄化槽などの多様なし尿処理形態を含む分類で集計せざるを得なかったため、単独浄化槽と合併浄化槽の排出率を平均した原単位を用いた。産業系については、少なくとも中分類ごとの負荷原単位を用いることが多いが、今回は基礎情報として市町村ごとの製品出荷額総額しか得られなかったため第2次産業全体を通した平均的な原単位値を推定した。推定にあたっては、上記の環境庁水質保全全局の湖沼流域負荷量調査の結果を用いた。この調査は湖沼流域内にある一定規模以上の事業所からの排出を点源負荷とみなして集計したものである。

1985年度の実測基礎数値を基にした総排出負荷量の値が既に報告されているもの（例えば、小倉・高田、1991）とほぼ一致したため、この数値を1985年実績として将来予測値との比較を行った。

2.3 中小河川の水質予測モデル

将来の水環境を評価するシステムの一環として、関東地方の一般河川水域（利根川、荒川、多摩川、鶴見川、相模川）における21の中小河川の本川合流直前の水質（BOD）を流域特性から予測するルールベース型のファジィモデルの開発を行った。これらの河川は、①最下流部に水質環境基準点があり、②流域途中に主だった流出入口がない、という条件で選定した。モデルの詳細については引用文献（中森 他、未発表）に譲るが、構築の手順は以下の通りである。

(A) データ集合を異なる構造を持ついくつかの部分集合に分割（オーバーラップを許す）し、それぞれの

部分データ集合を用いて河川のBOD水質と流域特性の間の関係を同定する。

(B)それらのモデルをメンバーシップ関数を用いて統合することにより、全域的には滑らかな非線形モデルを構築する。

(C)メンバーシップ関数のチューニングによりモデル精度の向上を図る。

具体的には流域の人口密度、下水道普及率、森林面積率、製品出荷額密度という4つの指標を用いて回帰式の重みであるメンバーシップ関数を計算し、①宅地面積率(人口密度)が小さい流域、②宅地面積率は大きい下水道普及率は小さい流域、③宅地面積率と下水道普及率がともに大きい流域、という3つのルールによる回帰式の加重平均からBOD水質の予測値を計算した。図2に1985年の実測水質値によるモデルの検証結果を示す。

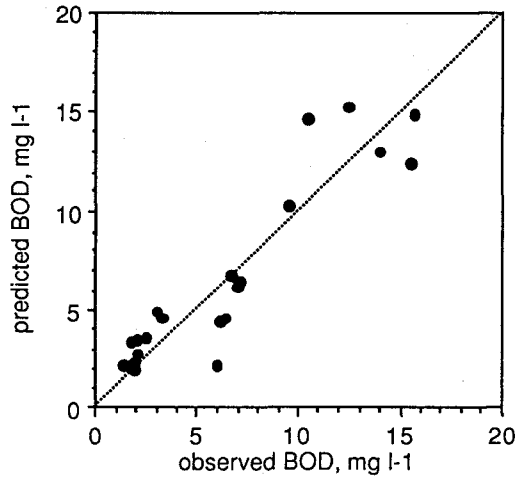


図2 1985年の実測値による水質予測モデルの検証結果

3 流域特性情報とその将来変化シナリオ

3.1 流域特性情報の内容

流域特性情報の基本となる市町村ごとの基礎情報は、各都道府県が毎年発行している統計年鑑から引用した。入力の対象としたのは関東地方の一級河川水域（利根川、荒川、多摩川、鶴見川、相模川）の全流域を含む一都七県（茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県）における1980年度と1985年度の数値である。データ項目によっては自治体ごとの集計単位の相違や欠落などがみられたため、各種の回帰モデルにより推定を行った。また、一部の細項目については厚生省、農水省、通産省などが公表している統計資料から引用した数値を用いた。

3.2 将来予測シナリオ

市町村ごとの基礎情報のうち、総人口と製品出荷額のみを操作し、各々以下のような2通りの型を考えて組み合わせにより表1に示すような4つの基本シナリオを設定した。

(A) 人口については、現状推移型（厚生省人口問題研究所予測値（都道府県単位の低位推計と中位推計の平均値）を市町村に割り振る）と一極集中促進型（50km圏内の市町村の最小人口密度を飽和値（5393人 km⁻²）に設定）とを考える。

(B) 製品出荷額については、処理率向上型（工業排水処理技術の進歩による事業所負荷の安定化を仮定して製品出荷額を1985実績に固定する）と線型増加型（GDPの伸び率（経済企画庁資料）をそのままあてはめる）とを考える。

厚生省人口問題研究所の予測値は1991年度に公表されたものであるが、低位推計と中位推計の値をそのまま用いた場合の予測結果の一部についても考察する。人口密度の飽和値については、東京0-10km、10-20km、20-30km、30-40km圏での人口変化率（太田、1987）から飽和人口密度を推定し、1965年から1986年までを5

表1 2025年における4つの基本シナリオ

	人口	工業出荷額
シナリオA	現状推移型	処理率向上型
シナリオB	現状推移型	線型増加型
シナリオC	一極集中促進型	処理率向上型
シナリオD	一極集中促進型	線型増加型

年ごとに分けた場合の4期間における各圏での人口増減率と人口密度（海上部の面積は除外）との関係を対数関数型モデルを当てはめて、人口増加率が0%となるところの人口密度をもって飽和人口密度（5393人/km²）とした。

その他の項目については、次のようなサブモデルを用いて将来値を設定した。

(C) 下水道普及率については、建設白書より年率1%の伸びで外挿し、その他の処理方式は現状の比率で推移すると仮定した。

(D) 土地利用については、人口/宅地サブモデル（図3）により宅地面積を推定し、田畑、森林その他については、宅地の変化から調整した。

(E) 家畜数（牛、豚）については、市町村ごとの面積、人口、人口密度、宅地面積、森林面積、田面積、畑面積を説明変数とする重回帰モデルにより推定した。

東京湾流入負荷量の評価の際には、次のような生活雑排水対策バリエーションを考慮した変化シナリオを組み込んだ。

○バリエーションⅠ：生活雑排水の原単位抑制政策を考えて、水田の自然浄化機能の利用やエコロジカルライフの定着を仮定し、雑排水原単位を半分に設定する。

○バリエーションⅡ：合併浄化槽の完全普及を仮定して、下水道未普及地域ををすべて合併浄化槽におきかえる。

これらの将来予測シナリオに基づいて、市町村単位に計算された2025年における人口密度の予測値を10kmメッシュ単位に変換した結果を図4に示す。また、2025年における首都圏全体の各種特性指標の予測値の一覧を表2に示す。

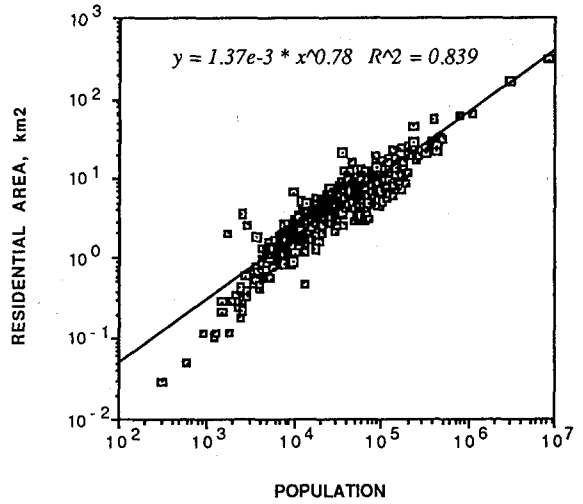


図3 市町村ごとの総人口と宅地面積の関係

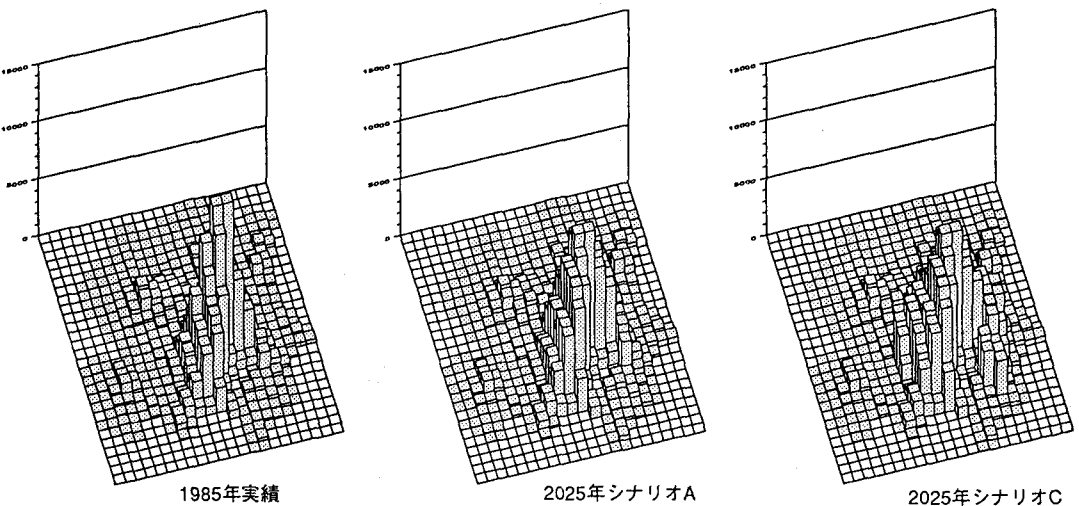


図4 首都圏全域における人口密度の変化（10kmメッシュ）

表2 2025年における首都圏全体の特性指標

	総人口	人口密度	計画収集	自家処理	下水道	浄化槽	出荷額密度	宅地率	森林率	田率	畑率	牛密度	豚密度
	人	人/km ²	%	%	%	%	百万円/km ²	%	%	%	%	頭/km ²	頭/km ²
1980実績	35585465	967	37	4	30	29	1383	8	48	11	8	14	50
1985実績	37608927	1022	27	2	39	32	1486	9	49	10	8	15	54
2025シナリオA	43979111	1195	12	1	72	14	1486	11	48	10	7	16	37
2025シナリオB	43979111	1195	12	1	72	14	5159	11	48	10	7	16	37
2025シナリオC	58638418	1594	15	2	69	14	1486	14	47	9	7	14	32
2025シナリオD	58638418	1594	15	2	69	14	5159	14	47	9	7	14	32

4 西暦2025年の水環境問題の予測と水資源管理施策の提言

4.1 予測結果とその評価

(A)東京湾への負荷量

図5に東京湾へのCOD負荷割合の変化予測結果（基本4シナリオ）を示す。基準年を1985年として、人口がシナリオA、Bでは17%、シナリオC、Dでは56%増加することが予測されるが、生活系の負荷はそれぞれ18%の減少、7%の増加となっている。これは下水道率が39%からそれぞれ72%、69%に増加することが主たる原因である。産業系の負荷は、処理率向上型（シナリオA、C）と一定型（B、D）で3.47倍（工業出荷額の増加比率）も異なる。処理率が向上しない場合には負荷量が生活系とほぼ同程度になる恐れがある。畜産系については、宅地面積率の増加により豚、鶏数が減少するため（牛は若干の増加）負荷量は減少する。その寄与率は面源系と同じく全体の2%程度となる。田、畑、森林、宅地の面積率の変化があまり大きくないので、面源系の負荷量変化は少ない。下水道普及率が全国的に年率1%程度で増加し、産業系の処理効率が増加すれば、総負荷としては1985年実績とあまり変わらない。以上の傾向はTN、TPでも同様である。

バリエーションI、IIによる計算結果については、生活系の負荷だけが変化するので、その量だけを比較する。図6に1985年を100とした時の東京湾への生活系負荷量予測結果（基本4シナリオと2つのバリエーション案）を示す。雑排水対策のIでは、現状推移型でCOD17%、TN2%、TP8%、一極集中型ではそれぞれ19%、2%、9%の減少となる。合併浄化槽への転換をはかるIIでは現状推移型で29%、5%、6%、一極集中型で33%、6%、7%の減少が予想される。CODにおいてはかなりの負荷削減が期待されるが、TNとTPではわずかである。合併浄化槽の場合、栄

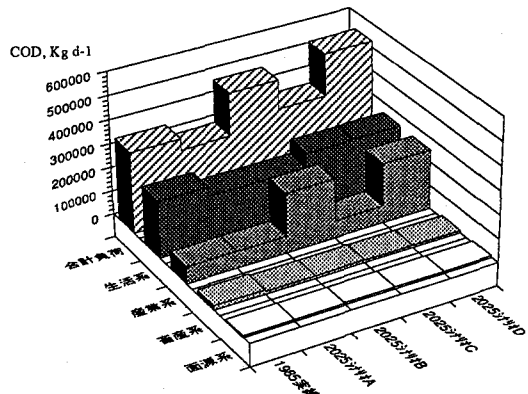


図5 東京湾へのCOD負荷割合の変化予測(基本4シナリオ)

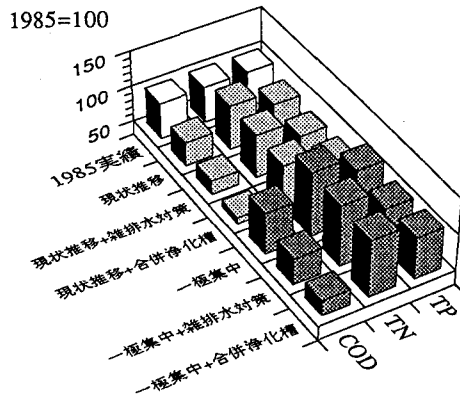


図6 1985年を100とした時の東京湾への生活系負荷量予測(基本4シナリオと2つのバリエーション案)

養塩の処理効率の向上が望まれる。

人口問題研究所の予測では、2025年の人口予測値は上、下とも2.2%程度の幅を有している。この結果、生活系の負荷もシナリオA、Bの場合の2.2%増しと減になるが、総負荷への影響は大きくない。

佐々木（1991）によれば、東京湾の植物プランクトンの生産はリン制限と推測されている。このため、人口が現状推移型で、産業系の負荷が現状維持であるとする、CODとリンの負荷量は減少するので東京湾の水質は現在より若干よくなることが予想される。

(B)中小河川における水質

図7に中小河川におけるBODの実測値と2025年での予測値を示す。工業出荷額はモデルの前件部のみに影響するので、シナリオAとB、CとDとの差はほとんどない。

シナリオAで水質の悪化する川は、大須賀川、和田吉野川、平井川、中津川であり、現在の3mg/lから2025年の4-6mg/lへの増加傾向が見られる。こうした川については、現在は人口密度が1,000人/km²以下で、下水道普及率がゼロに近く、森林比率が比較的高いのでBOD値が低いと考えられる。しかし、2025年には下水道普及率が50%程度となるものの人口の増加などにより流域の開発が進むために水質が悪化するものと思われる。

逆に、シナリオAで水質がよくなる川としては、鴨川、大栗川、残堀川、谷地川、恩田川、小出川、小鮎川など、現在でも人口密度が1,000人/km²以上の開発が進んでいる流域で、将来は人口が増加傾向にあるものの、下水道普及率が7割を超えるところである。なお、赤平川、横瀬川、道志川では現在、将来とも森林率が50%と高く、人口密度も1-300人/km²と低い所で、BOD濃度も1-3mg/lと小さく、変化も少ないことが予測される。

シナリオCで特に水質が悪化する川は、根木名川、市野川、大栗川、平井川など、50km圏内にあり、現在人口密度があまり高くない流域で、将来一極集中のため人口増加が予想される河川においてBOD濃度の増加が予測される。

現在、21河川中11河川で環境基準を満足しているが、シナリオAでは2025年で8河川が達成との予測となる。特に、C、D類型での達成率はよいもののA、B類型ではほとんどの河川で環境基準を満足しないことになる。

4.2水資源管理施策の提言

現在も将来も、下水道ではCOD80%、TN40%、TP59%、浄化槽ではCOD57%、TN18%、TP39%の処理率であるとして計算を行ったが、特に、TN、TPの処理効率は現状では満足のいく数字ではない。このため、嫌気・好気活性汚泥法などを取り入れて、その向上を図らなければならない（稲森・須藤、1991）。この際、発生汚泥の減量化、資源化、発生する地球温暖化ガスの回収などにも注意を払う必要がある。

TNについては、生活系の負荷割合が1985年でも73%、2025年ではシナリオAで76%、Bで59%、Cで81%、Dで64%と卓越していた。生活系では下水道と浄化槽、計画収集との原単位の差が少ないので、人口の伸びがそのまま負荷量の伸びとなっている。このため、下水処理での窒素処理がますます重要になると思われる。TPについては、生活系ではシナリオA、Bで若干の減少、C、Dで増加の傾向であった。やはり、下水道での三次処理が望まれる。

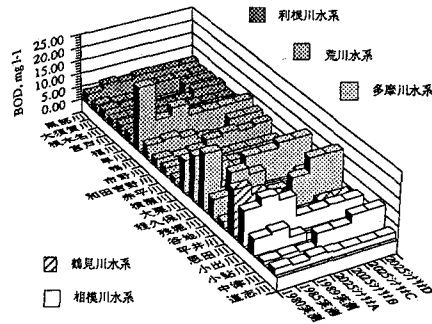


図7 中小河川におけるBODの実測値と2025年での予測値

本予測システムでは、人口密度がかなり低い地域でも下水道を敷設するシナリオとなっているので、それが順調に行えない場合も考える必要がある。また、人口密度が低いところでは公共下水道より、集落下水道、各戸合併浄化槽の方が費用の点で有利とする報告も見られる。たとえば、中西ら（1982）の試算では、人口密度1000人/km²程度では集落下水道、300人/km²程度では合併浄化槽の方が適していると報告されている。流域での分散度を十分に考えなければならない。

産業系負荷の増加については、処理率の向上がなければ3倍以上となる可能性がある。東京湾への負荷はCOD、TPで影響が大きく、その場合負荷量は1970年代半ばに返ることが予想される（小倉・高田、1991）。

一極集中促進型のシナリオに従うと、現状推移型のシナリオと比べて、東京湾への負荷量はCOD、TN、TPとも1～2割の増加となる。また、都心から30～50km圏にある中小河川での水質悪化が予想される。このため、こうした周辺域での開発速度の管理などを行わなければならない（環境庁企画調整局、1990）。

5 おわりに

本研究では、首都圏の水資源を含めた水環境の問題構造を把握し、社会・経済活動の影響を受けて西暦2025年までにどう変化して行くかを定量的に予測し、これらの活動が水環境に与える影響を評価した。このような、広域を対象とした水環境予測システムは、今後の首都圏の長期的な水資源・水環境管理施策を、立案する際の支援ツールとして有益であるとともに、検証された管理施策は、予見的・科学的対策立案に貢献するものと思われる。

なお、本研究の一部は(財)日本生命財団の研究助成を受けて行われた。ここに記して、感謝の意を表する次第である。

引用文献

- 稲森悠平・須藤隆一（1991）生活・産業系排水対策の現状と窒素・リン削減をめざした高度処理技術の動向、公害と対策、27、15-23。
- 環境庁企画調整局編（1990）首都圏・その保全と創造に向けて、大蔵省印刷局、140pp。
- 環境庁水質保全局編（1983）湖沼の富栄養化対策調査報告書、82pp。
- 国松孝男・村岡浩爾編著（1990）河川汚濁のモデル解析、技報堂出版、266pp。
- 中森義輝他（未発表）
- 中西準子・沖野外輝夫（1982）下水道計画論、武蔵野書房、222pp。
- 小倉紀雄・高田秀重（1991）東京湾への汚濁負荷の見積りと汚濁物質の挙動、沿岸海洋研究ノート、28(2)、121-128。
- 太田勝敏（1987）大都市圏の空間構造の変化と交通の課題—東京都市圏を中心として—、地域学研究、第17巻、251-261。
- 佐々木克之（1991）プランクトン生態系と窒素・リン循環、沿岸海洋研究ノート、28(2)、128-139。