

第1回 環境容量シンポジウム

—環境容量の概念と応用—

—Proceedings of 1st Symposium on Aquatic Carrying
Capacity and its Application—

期日 昭和63年3月16日(シンポジウム)

昭和63年6月24日(セミナー)

会場 国立公害研究所

特別研究「環境容量から見た水域の機能評価と新管理手法に関する研究」

シンポジウム・セミナー報告

海老瀬 潜一 編
Edited by Senichi EBISE

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立公害研究所

序

昭和62年度から開始した特別研究「環境容量から見た水域の機能評価と新管理手法に関する研究」は、水環境保全の研究としてこれまで行ってきた内容と若干趣を異にしている。当研究所内の経緯からみると、昭和50年から湖沼の富栄養化現象の解明や防止対策、そして自然浄化力について、霞ヶ浦を主たる研究対象とした、言わば現象の機構にスポットを当てることを基本とした研究姿勢であった。また、わが国の湖沼環境の保全からみると、従来の水質汚濁防止法に加え、昭和59年制定の湖沼水質保全特別措置法によって施策が積極的に推進されている。しかしながら湖沼の環境基準の達成率は、ほぼ40%と依然として低率である。このような背景から、これから行政施策に役立つ調査研究としては、一旦現象解明の主体をさしひかえ、環境容量という概念を通して必要な現象解明や、その資料に基づく応用成果を生み出す方向で、この研究を行うことになったものである。

この特別研究の目的や初年度の成果は、当研究所の62年度年報に記載されている。しかし実際に研究を進めるには、「環境容量」の概念そのものの勉強から始めねばならなかった。その結果、一年後の本年3月16日には第1回シンポジウムを開き、所外からの多くの専門家の教示も得て実りある成果を得ることができたが、これをまとめたのが本報告である。また幸いなことに、後日、環境容量概念の創設者である大阪大学 末石富太郎教授と北海道大学 丹保憲仁教授をお招きし、内容の高度なセミナーが開催できたので、その内容も掲載させて頂いた。協力して頂いた先生方に心から謝意を表すると共に、本書をシンポジウムの記録として御利用頂き、これからの私達の研究にも御指導頂ければ幸いである。

昭和63年12月

水質土壌環境部長 村岡浩爾

目 次

I. 第1回環境容量シンポジウム

- | | |
|-----------------------------|-----------------|
| 1. 環境容量の概念・考え方 | 1 |
| 福島武彦 | 国立公害研究所 水質土壌環境部 |
| 2. 自然浄化能の定量化 | 13 |
| 宗宮 功 | 京都大学 工学部 |
| 3. 環境基準・環境指標・環境容量 | 21 |
| 原沢英夫 | 国立公害研究所 総合解析部 |
| 4. 湖沼沿岸帯における自然環境容量と景観 | 35 |
| 桜井善雄 | 信州大学 繊維学部 |
| 5. 環境容量と生態学 | 49 |
| 川那部浩哉 | 京都大学 理学部 |
| 6. 環境資源・資産・容量について | 59 |
| 北島佳房 | 筑波大学 社会工学系 |
| 7. 環境容量と環境管理 | 77 |
| 盛岡 通 | 大阪大学 工学部 |

II. 環境容量セミナー

- | | |
|--------------------|-----------|
| 1. 水環境の構造と容量 | 93 |
| 丹保憲仁 | 北海道大学 工学部 |
| 2. 環境容量と環境計画 | 107 |
| 末石富太郎 | 大阪大学 工学部 |

資 料

129

1. 第1回「環境容量シンポジウム」参加者氏名一覧
2. 環境容量セミナー参加者氏名一覧

I . 第 1 回 環 境 容 量 シ ン ポ ジ ウ ム

1. 環境容量の概念・考え方

福島武彦 (国立公害研究所水質土壌環境部)

1. "Carrying Capacity" 環境の収容力

E. P. Odum(1971)によればCarrying Capacity とは"The maximum population density of a given species that an environment can support without being degraded" と定義され、日本では環境の収容力などと訳されている。人口論におけるMalthus の指数関数型増加に対して、18世紀にVerhulstが提案した次式中のKとして定式化される場合が多い(Bishop et al. 1974)。

$$\frac{dN}{dt} = r (1 - N/K) N \quad (1)$$

ここに、Nは人口、tは時間、rは(内的自然)人口増加率であり、式(1)の解として式(2)のようなロジスティック式が得られる(t=0でN=N₀)。

$$N = K / (1 + e^{-at}), \quad a = \ln \{ (K - N_0) / N_0 \} \quad (2)$$

すなわち、Kは人口増加に対する密度依存効果により実質的な人口増加率が負に転じる点で、系の有する最大人口となる。実際には地球上の人口は産業革命後、技術革新などに伴うKの実質的な増加、一世代長が長いことによるフィードバックの遅れから見かけ上は指数関数的な増加をしてきた。「西暦2000年の地球」(1980)によれば、世界人口は1975年41億人、2000年63.5億人、2030年100億人、2100年300億人と予測されている。これに対して全米科学アカデミー(1969)は、「厳しい管理下において、世界が多少の余裕と個人の選択を残しつつ収容できる人口」として100億人、「個人の自由と選択を犠牲にして大多数が慢性的な飢饉に近い状態を我慢して収容可能な人口」を300億人と予測している。これらの人口がE. P. Odumのいう環境を永続的に劣化させない人口であるかとの議論はともかく、世界人口が飽和に近いレベルに達していることは疑うことのできない事実である。

環境の収容力を支えるものとして資源の概念が登場する。Watt(沼田真監訳 1975)によれば、資源の内容として物質、エネルギー、時間、空間、多様性が挙げられている。物質は個体の成長、再生産の、エネルギーは基礎代謝、活動の源となる。時間が資源となる例としては技術革新に必要とされる時間、空間では土地利用、産卵場所、多様性では食物獲得の安定性が例に引かれている。資源の分類には他に分布状態、更新の可否、生物・無生物・人工のもの、生産物等で分けることもある(天野博正 1973)。また、更新の可否、可動性、システムの種類(自然、インフラ、社会)、所有形態での評価もある(Bishop et al. 1974)。このうち、更新の可否はCarrying Capacityの時間的特性とも関わって非常に重要な分類方法である。以下に3通りの例を挙げて検討しよう。

・ (1) Non-renewable, ストックとしての資源

$$dS/dt = -\alpha(t) \quad (3)$$

Sは資源量, $\alpha(t)$ は消費速度である。鉱物資源, 化石燃料等がこれにあたり, 新たなる生産が事実上不可能なものである。リサイクル, 代替資源の開発等が資源枯渇に対する対応策となる。

(2) Renewable-1, フローとしての資源供給の直接利用

$$\beta - \alpha_1 - \alpha_2 \approx 0 \quad (4)$$

β は資源の供給速度, α_1 は利用されないままでの, α_2 は利用を行った場合の資源の消費速度であり, 資源の貯蔵が β に比べ無視しうる場合である。 β として太陽エネルギー, α_2 としては水力, 風力発電, 農産物生産などが挙げられよう。 α_2/β 比をいかに上げるかが資源利用の方針となる。

(3) Renewable-2, Renewable-1の二次利用の一つのタイプ(資源の一部貯蔵)

漁業資源管理の問題を取り上げる(吉原 1973, Jensen 1984)。魚の現存量Bの変化に式(1)のようなロジスティック式と漁業の効果を考えると,

$$dB/dt = r(1 - B/K)B - qEB \quad (5)$$

ここに, q は漁獲効果, E は漁獲努力であり, qEB が漁獲量を表す。式(5)がゼロとなる場合が, 漁獲量と魚の自然増加量とが等しくなることを意味し, この時の漁獲量を平衡漁獲量, 持続生産量(SY)と呼ぶ。SYはBの二次関数となり, 最大値は $B=K/2$ の時に生じ, 最大平衡漁獲量, 最大持続生産量(MSY)となる。注目すべきことは, qEB を(人間に対する)資源供給速度と考えた場合, 永続的にSYを最大に利用するためには資源利用の一次産物である生産量Bを一定量に保つ必要があるということである。以上のような理論は, 漁業資源の場合よくあてはまり, 管理に最適化問題として用いられる。しかし当然のことながら, MSYはK(環境の収容力)に比例する。また, 魚の現存量が定常状態に保たれていない場合, 次年度の現存量を減らさないで漁獲しうる量を現実持続生産量(ASY)と呼ぶ。

環境の収容力の値は, 魚の場合再生産曲線(親と子との量的関係), 藻類の場合には増殖曲線などをもとに推定される。後者では主に栄養塩濃度との比例関係が報告されていて(丹保ら1982), 富栄養化が藻類のKの増加をもたらす。以上から, 環境問題におけるKの値の評価に当たっては, (a)個体群の空間スケール(交雑可能な集団の個体数), (b)時間的特性(永続的なものか過渡的なものか), (c)評価の対象(例えば藻類を対象とするのか, それを捕食する魚を対象とするのか, それとも藻類の増殖に伴う人間活動の不利益をも対象とするか), (d)資源の利用形態(上述の(1)~(3)), (e)負の資源としての環境劣化に注意しなければならない。

2. “環境容量”その概念と分類

末石ら(1972)によれば日本における「環境容量」という言葉は, 楠本正康:南部群一らを中心とするグループでの環境サイクルに関する討議の過程で, 昭和42年頃から使われ始めたとされている。ここでは, 環境容量の概念と分類を提案した四つの代表的な報告を紹介し, その意味を

考察する。

(1) 末石ら、環境文化研究所（1972）

人間と自然の間に介在して環境の質や人間の活動を保持するある種の重層構造を持った環境サイクルの容量。

I. 純自然の還元，同化能力（ゼロとするべき）

II. 緩衝装置ゾーン，還元装置ゾーン入口において受容可能な指標物質の量（健康閾値から求める総量規制とは異なる）

III. 生活圏全体での許容活動量（IIの生活圏全体での空間積分）

IV. IIIの時間的積分値の収束値

(2) Bishop et al.（1974）

Carrying capacity is the level of human activity which a region can sustain at acceptable “quality-of-life” levels in perpetuity.

* Resource Capacity (Bearing Capacity) 再生可能な資源量

* System Constraint Capacity 資源を利用するシステムの容量

* Social/Psychological Capacity 資源の社会的配分機構

(3) 江山正美（1974）



(4) 内藤正明（1987）

第1種 環境の状態量になんらかの外的規範（例えば環境基準）を設定し，この範囲で人間の活動量を適正に配分するための基礎を与える概念。規定するものとしては，汚染浄化能，環境場の広がり，生態系影響の限界（外的規範），許容排出総量があり，本質的には同等であることが示されている（3の(7), (4), (3) or (5) or (6), (2)とそれぞれに対応）。

第2種 自然または社会生態系の安定を保持するような絶対的な条件の下に，人間活動の限界を設定する根拠につながる概念。

(1)は空間場を明確にしたこと（生活圏，接続領域，純自然），環境容量の時間的変化も対象としたこと，活動量，受容可能な指標物質量という評価対象を定義したことが特徴である。資源と

しての評価は施設特性、社会的合位形成能力の観点から主に行われ、その強化策が検討されている。(2)は資源の利用方式にかなりの重点が置かれ、水、大気等はAmbient な資源と捉えられている。“In perpetuity”であることから、再生可能な資源が主たる対象となっている。(3)は自然公園を対象としたものであるが、生態的容量に関しては観念レベルに止まっているのに対し、形態的容量、人間、施設標準空間については具体的な検討を行っている。適切な自然公園の開発のための指針という色相が強い。(4)は行政的に既に利用されている総量規制(第1種)と1に述べた環境の収容力の人間版をめざしたもの(第2種)に分類するとともに、後者への接近方法を概念的にまとめたものである。(1)では評価対象の指標化方法、空間場の実際のあてはめ方法、(2)では環境劣化の資源としての評価方法、(3)では生態的容量の具体的な算定方法、(4)の第1種では環境基準の根拠、第2種では生態系の適切なモデル化などに問題点が残されている。

3. “容量”その適用例

環境容量、あるいは環境問題で“…容量”と呼ばれているものの内、具体的に適用が行われているケースを対象にその分類を行ってみると以下のようなものである。

(1) 理念としての容量

宇宙船地球号のような言葉に代表される地球の資源、環境の有限性を示す理念で、カウボーイ的世界観への反省として表現される(栗原 1974)。

(2) 許容排出量の空間(、時間)積分値

環境基準等の基準値を満足するために必要となる許容排出量のある地域(、ある時間)の積分量(内藤、第1種)。行政的には水質、大気質の総量規制として法制化されている(表1)。また、白樺湖、菅平(川上ら 1983)、Tahoe湖(Gilliland & Clark 1981)の例では排出原単位をもとに人口に換算されている。排出区域を分割した場合の発生源の配置、配分の方法の問題(内藤 1977、二階ら 1987)、水処理の程度とコストの間のトレードオフを考慮した最適化問題などが付随的に生じる(Behan et al. 1985)。

(3) 利用適性

開発行為に対する地域の適性度を示す。十和田湖では植生、傾斜(菊地 1976)、白樺湖では谷密度、傾斜、標高、植生、地質(道路率、建蔽率)(川上ら 1983)、Tahoe湖(丸田 1977)では土壌タイプ、相対的浸食ポテンシャル、洪水危険度、地質などから開発危険度として表される。エコロジカル・プランニング(地域生態計画)とは自然環境が必然的に持っている可能性と限界をもとにして、最良の適応の方法を工夫することとされるが、その手段としての環境アセスメントとは環境事前適性評価と定義される。米沢盆地の工業立地適性調査に利用された例がある(磯辺ら 1975)。

(4) 施設、装置の最大能力

ある用途のためにある施設、装置の持つ限界として表現される。菅平におけるスポーツ施設面

積(川上ら 1983), Illinois川の川遊びによる入込客数, 館山における海水浴客収容力等の計算例(菊地 1976)があり, 江山による施設, 人間標準空間の概念と対応している。例えば, 東京圏の飲料用となる水の水源面積, 新鮮野菜の輸送時間, 廃棄物の輸送能力(菊地 1976), ダムの堆砂による利用可能年数(堀内 1977)等もこの範疇に入ると考えられる。

(5) Carrying Capacityへの影響因子

ある環境変化の生物最大持続現存量への影響程度を調べたものである。溶存酸素量のマス生長への影響(Downey & Klontz 1981), 底生動物量, 種類への河川の水深, 流速の影響(Harber & Brusven 1983), フロンガス増大→オゾン減少→紫外線増加→皮膚ガン発生による死亡率の増加の予測(富永 1987)等多くの例が挙げられる。

(6) 個体への蓄積ダメージ

ひとつの個体が機能を失うまでの累積的な負荷量で(5)の積分的効果。放射能防護規定にある蓄積線量(職業人の生殖腺防護のために3レム/3ヶ月という規制の他に, $(N-18) \times 5$ レム(Nは年齢)以下に蓄積線量を抑えなければならない。(ICRP 1962年改訂版)), 疲労破壊における寿命の考え方がその例である。酸性雨に対する土壌の緩衝能力等もこうした概念の適用が考えられている(Paces 1985)。(2)の基準において個体への損傷程度が評価基準となった例といえる。

(7) 自然浄化能

前特研である“自然浄化機能による水質改善に関する総合研究”(昭和58年~61年度)ではアシ原, 森林, 河口域等での自然浄化能の定量化が試みられた。自然におけるどのような変化を自然浄化と見なすのか, 変化速度は何に支配され, どのように表現するべきか等の点で課題が残されている。

4. “環境容量”その新たな利用に向けて

(1) 再び“環境容量”とは?

Carrying Capacity とは環境に永続的に存在しうる最大の個体数であるとの定義に対し, 2, 3に示した環境容量はそのCarrying Capacity を減少させない人間活動量を表現していると考えられる。すなわち, 人間は同一の個体数であっても, 有する技術, 環境への働きかけの度合いが異なるからである。Carrying Capacity は資源に支えられているので, 環境問題を資源の観点から見ればrenewableなものでは供給に見合って定常的に存在しうる人間活動量(例えば水, 食物の量→人口), non-renewableなものでは資源を使い果たす人間活動量の総量(あるいは資源現存量と消費速度から資源枯渇までの時間)が環境容量といえるだろう。前者は江山の生態的容量, 内藤の第2種容量と, 後者は末石らの環境容量IVと対応している。また, 人間のCarrying Capacity に影響を与えなくとも, 人間活動に不利益をもたらす場合もある。例えば健康項目の水質環境基準は人間, 生物のCarrying Capacity の減少を防止する観点であるのに対し, 生活項目のそれは

水利用の便益の向上という観点も付加されている。このため、環境資源への人間活動の影響という観点では、人間のCarrying Capacity の減少という評価以外にも多くの判定レベルがあると考えておいた方がよい。以上から環境容量とは、人間活動による環境資源の消費速度から決まる、人間、生物種のCarrying Capacity への影響、人間活動への不利益等が生じるまでの人間活動の余裕と言えよう。

(2) 地域環境計画への環境容量概念の利用方式とその問題点

環境容量の概念がいかに精緻なものであれ、実際の地域（例えば集落、流域あるいは地球全体を含む場合もありうる）の環境劣化を防止するなんらかの手だて（管理、経営の方策）を提供するものでなくては意味がないであろう。青山（1987）は環境管理の内容として(1)規制、削減、(2)保全、保存、(3)利用、創造に分類し、管理をする項目としてそれぞれ典型7公害、自然生態資源、快適環境資源を挙げ、また手法としてそれぞれ環境容量適合性の予測・評価、環境資源利用適性の評価、市民のニーズ・意向把握を対応させている。環境容量概念の利用が典型7公害に対する規制、削減といった管理案の作成に限定されることはないにしても、(1)に述べた定義から、環境資源の利用実態から生じるその劣化の指摘、解決案の提示に有効に生かされうるものでなくてはならない。

図1には環境資源の消費という観点から環境容量概念を用いての地域環境計画の策定方法の概念図を示す。これをたたき台として、基本的な考え方、問題点を検討しよう。

まず第1段階では、対象とする場の空間、時間スケールを外部領域との関係度合、歴史、対象とする問題（第2段階で(c)のような視点から資源整理を行うことと対応）での主要な現象の時間スケールで決めなくてはならない。しかし、場を限定することからいくつかの問題が生じる。まず、地域間の関係としては階層のある場合（上流、下流等）と並列的な場合がある。前者では最終的なアウトプットの場から許容負荷量を決定し、順次遡って環境容量を決定して行くという考え（合田 1986）が魅力的ではあるが、その方法の実現にあたっては外洋における自然浄化能の推定のような難題が存在する。後者では一地域での制御が他地域での環境劣化をもたらす場合も生じる（ポーター他 1978）。例えば知床での原生林伐採禁止は熱帯雨林の破壊を加速化させる可能性もないとは言えない。また、閾値を超えたdead地域に人口を集中させて、残っている部分の環境容量の増大をはかるDID(dead is dead)戦略（末石 1987）等は並列地域に格差を積極的に作ろうとするものである。積極的なものであれ、消極的なものであれ、地域間の配分の問題の解決にはより上位の計画が要請される。次に、時間のスケールの決定にあたっては物理、化学、生物等の時間スケールを考慮すべきことは当然であるが、それがあまり長くなると自然の遷移との区別がつかなくなることが問題となる。

次に第2段階で、現在の環境のもつ資源量及び人間活動を定量化する。資源としては地質、植生、水質、生物種、景観等の生態的資源、環境劣化を防止するための施設、装置及び法制、教育等の社会的資産が考えられる。その整理にあたっては、(a)現存資源を網羅的に列記したもの一生

態的資源に関しては各自治体を中心に地域環境利用ガイドの形でデータベース化されているものもあるが、その中でも図、統計をふんだんに利用した滋賀県地域環境アトラス(1985)がよい例である。(b)資源の種類で分類を行ったもの—*1内容(物質, エネルギー, 空間, 多様性, 財, …), *2性質(renewable, non-renewable), *3システム(生態的資源, 施設・装置, 社会資産がそれに当たる)。*4機能(北島(1982)は環境サービス(環境資源の機能)を, 1)自然活動及び人間活動により発生する物質の拡散・貯留・同化, 2)人間に必要な原材料の供給, 3)人間及び他の生命体のために, 生産の場ないし生活の場の提供, 4)アメニティ・サービスの提供に分類している。), (c)ある環境問題(例えば, 富栄養化, 地下水汚染)への危険性の観点から関係のある資源をまとめたもの, のようなそれぞれのレベルでの定量化が考えられる。環境容量概念を用いた環境管理では(c)を中心とした整理が基本となるが, 以下に示す第3段階の評価では(b)の整理が必要となる。また, 保全・保存あるいは利用・創造に重きを置く環境管理にあたっては(a), (b)での整理が重要である。言い換えれば, 現状の資源を出発点とするか(保全・保存あるいは利用・創造という管理と対応), 人間活動の影響のない状態での資源(規制・削減)を出発点とするかが大きな問題である。これに対し人間活動量は基礎代謝分, 生産・レクリエーションに伴う資源の消費, 施設の建設, 維持に伴う資源消費などを含む。各資源に対応する形で, 上述の(a)~(c)それぞれのレベルで整理して行く必要がある。資源とは人間活動との関係をどのように整理した形で捉えられるかが, 図1の地域環境計画を実効あるものにするかの鍵となるが, それもこれも資源をどのように整理できるかにかかっている。

第3段階は人間活動を環境資源の消費活動と見なして, その収支を推定することから, 人間活動への不利益, 環境資源の枯渇を予測する過程である。renewableなものでは供給と見合っているか, non-renewableなものでは枯渇の予想される時間の推定等が重要な視点となる。non-renewableな環境資源の消費は系のreversibilityと関係するので, 派生的なものであれその予測を極めて注意深く行わなければならないだろう。また, 系からの除去速度が遅い場合には蓄積性が問題となるが, その場合人間活動と資源の消費の間に時間遅れが生じるのでやっかいである。

第4段階において, 環境資源と位置付け及びその消費の危険性のランク付けを行うとともに対策案を検討する(Kates 1978)。価値, 危険性には人類の絶滅, 生物種の絶滅, 個人の死, 環境資源利用のコンフリクト, アメニティ等のランクがあり優先順位の付け方, それぞれに見合った対策案の選択等の問題が残されている。

(3) “環境容量”の新たな利用に向けての戦略

環境容量の評価にあたって環境資源をすべて定量化し, 人間活動との関係をも定量的に明らかにすることはまず不可能と考えられる。より実際のな利用にあたっては戦略, 戦術が必要となる。従来から用いられている環境問題の解析の代表的手法としては, (a)個々の物質について収支を明らかにし, 最終代謝物の発生速度, 系中の濃度を決定している律速過程の解明を行う方法(クネーゼ他 1974, Holdgate & White 1977), (b)一つの人間活動の環境に及ぼす影響をなるべく総

合的に捉えようとする方法（環境アセスメント）、(c)個々の物質、行為の危険性を確率的に捉え、代替案との比較検討を行う方法（リスクアセスメント）等が挙げられる。これら環境科学の常套的な手法、特に(b)、(c)は、問題の可能性→シナリオ→危険等の評価という方向（図1の上から下への方向）に解析を進める。この方法は行政的には新たなる化学物質の審査等に利用されている。これに対し、工学的な発想からすれば逆の方向の解析の方が攻撃し易い。すなわち、一つの戦略としては人間、生物のCarrying Capacity に必要となる資源を敢えて決めることから出発して、逆に資源枯渇のシナリオを描き、人間活動量を決めてしまうことである。環境基準の是非はともかくとして、総量規制はこの方向での立法化と言えよう。こうした意味でnon-renewable な資源の方がrenewable な資源より扱いが簡単かもしれない（末石らは環境容量Ⅳの決定からⅢの決定に戻る方法を提案している）。環境資源には外部効果の存在、不可分性等の特性が存在するので（北島 1982）、Carrying Capacityに必要な資源の算出は難題とも思えるが、この方向での議論は環境容量理論の活性化に不可欠なものといえよう。

二つ目の戦略としては指標化を行うことである。特に、状態変数が膨大になることから、その総合化、環境システム全体としての特性の表現、他のシステムとの相互比較等に重点を置いた指標化が望まれる。図1中には不完全なものではあるが各段階に指標を割り付けている。また、図1には記していないが、特に人間活動に及ぼす不利益が階段状となるような資源の指標が重要であると考えられる。段差部で人間活動を制限すれば、管理にあたっての説得性（コンセンサスの得やすさ）が増える。例えば、湖沼の富栄養化問題でのアオコ、淡水赤潮、カビ臭発生指標等が求めればこれに当たると考えられる。こうした指標は一つ目の戦略の人間、生物の Carrying Capacityに必要な資源の代用として利用できる可能性がある。

最後に、環境容量特研においては数回にわたり環境容量の考え方に関する勉強会を開き議論を重ねたが、統一的な結論は得られていない。このため、以上の文章は独断と偏見により書かれたものであることをお断りしておく。皆様方の厳しき御批判を乞うものである。

参考文献

- 天野博正（1973）人間環境システムの設計方法と戦略。電力新報社、345pp.
- 青山真一（1987）環境管理の客体としての環境と環境資源論。環境管理シンポジウム、環境庁、99-101.
- Behan, J. J. (1985) A net benefit model for recreation planning at drinking water reservoirs. *Water Resour. Bull.*, 21, 297-309.
- Bishop, A. B. et al. (1974) *Carrying capacity in regional environmental management*. EPA-600/5-74-021, 170pp.
- Downey, P. C. & Klontz G. W. (1981) *Aquaculture techniques : Oxygen requirement for trout quality*. NTIS, PB81-238560, 42pp.

- 江山正美 (1974) 自然公園における収容力に関する研究 (I). 自然保護, 10-15.
- Gilliland, M. W. & Clark, B. D. (1981) The Lake Tahoe basin: A systems analysis of its characteristics and human carrying capacity. Environ. Management, 5, 397-407.
- 合田 健 (1986) 水環境問題の今後. 第1回環境工学連合講演会講演論文集, 41-49.
- Haber, D. F. & Brusven, M. A. (1983) Use of invertebrate indicators for ecological resiliency evaluation of a flow regulated river. NTIS, PB83-178087. 84pp.
- Holdgate, M. W. & White, G. F. (1977) Environmental issues. SCOPE Report 10, John Wiley & Sons, 224pp.
- 堀内清司 (1977) 湖沼. 土木工学体系 19, 彰国社, 121-187.
- 磯部行久 (1975) エコロジカルプランニング. 建築文化, 30 (No.344), 49-137.
- Jensen, A. L. (1984) Assessing environmental impact on mass balance, carrying capacity and growth of exploited populations. Environ. Poll. (Series A), 36, 133-145.
- Kates, R. W. (1978) Risk assessment of environmental hazard. SCOPE8, John Wiley & Sons, 112pp.
- 川上浩也 (1983) 自然環境容量の数量的評価方法に関する研究. 日本生命財団研究助成金報告, 87pp.
- 菊池誠編 (1976) 適正規模論. 日本放送協会, 41pp.
- 北畠能房 (1982) 環境資源論と経済学. 季刊環境研究, 37, 99-101
- クネーゼ他 (1974) 環境容量の経済理論. 所書店, 23pp.
- 栗原康 (1974) 生態系とクローズトシステム. 公害と対策, 10-1, 4-8.
- 丸田頼一 (1977) タホ盆地の自然立地的土地利用計画と環境容量. 環境情報科学, 6-4, 64-69.
- 内藤正明 (1977) 環境容量に関するシステムの分析. 環境情報科学, 6-4, 48-50.
- 内藤正明 (1987) 環境容量論. 環境情報科学, 16-3, 49-54.
- 二階健・中村雅胤 (1987) 紀ノ川における水質環境容量解析調査. 用水と廃水, 29-6, 15-22.
- 沼田真監訳 (1975) ワット 環境科学 理論と実際. 東海大学出版会, 305pp.
- Odum, E. P. (1971) Fundamentals of Ecology (3rd Edition). Saunders, 574pp.
- Paces, T. (1985) Sources of acidification in Central Europe estimated from elemental budgets in small basins. Nature, 315-2, 31-36.
- K. S. ポーター編著 (1978) 環境保全と窒素・リン・農林統計協会, 369pp.
- Shelby, B. & Colvin, R. (1981) Carrying capacity for the Illinois river. NTIS, PB82-243510, 56pp.
- 滋賀県琵琶湖研究所 (1985) 滋賀県地域環境アトラス.
- 末石富太郎他 (1972) 環境容量計量化調査研究報告書. 環境文化研究所, 162pp.
- 末石富太郎 (1978) 土地利用と水利用機能の多元化からみた都市環境容量. 環境科学シンポジウ

ム1987, 242-243.

田中努監訳(1980)西暦2000年の地球. 日本生産性本部, 194pp.

丹保憲仁他(1982)藻類増殖関数の研究. 水道協会雑誌, 570, 7-15.

富永健(1987)大気中におけるハロカーボンの分布と挙動. 第2回環境工学連合講演会講演論文集, 45-51.

吉原友吉(1973)資源解析の基礎理論. 水産資源論, 東京大学出版会, 7-31.

全米科学アカデミー(1969)資源と人間.

表 1 日本における水質等の環境に対する法制度の歴史

	国による水に関する規制	そ の 他
1958	水質保全法, 工場排水法	
1968, 1969		大気汚染防止法(SO ₂ のK値規制) SO ₂ の環境基準, 騒音規制法 水保病, イタイイタイ病原因認定
1970	水質環境基準 水質汚濁防止法	EPA 公害罪法, 海洋汚染防止法, 農用地汚染防止法, 廃棄物の処理及び清掃に関する法律 環境庁
1971		悪臭防止法
1972		自然環境保全法
1973	瀬戸内海環境保全臨時措置法	NO _x , 光化学オキシダントの環境 基準 石油危機 大阪府 Big-plan
1974	Hgの環境基準と排水規制	国立公害研究所 四日市港域COD総量規制 仙台湾地域公害防止計画 SO ₂ の総量規制
1975	PCBの環境基準と排水規制	
1976		三重県SO ₂ の総量規制
1978	瀬戸内海環境保全基本計画 総量規制方式の導入による水質汚濁防 止法改正	
1979	東京湾等総量規制計画 瀬戸内海リン削減計画	琵琶湖富栄養化防止条例
1981	瀬戸内海環境保全のための県別計画	アセスメント法案閣議提出 NO _x 総量規制
1982	湖沼, 貯水池でのリン, 窒素基準	
1984	湖沼水質保全特別措置法	
1985	湖沼に係る窒素, リンの排水規制	
1987		霞ヶ浦, 印旛沼, 手賀沼, 琵琶湖, 児島湖の湖沼水質保全計画
1988		釜房ダム, 諏訪湖の湖沼水質保全計 画

〔自然－人間系のスケールの決定〕

*外界、他の要素との関係度合 → 空間スケール

*歴史、対象とする現象 → 時間スケール

指標（空間スケール、時間スケール、外部環境との密接度、変遷度、…）



〔資源の評価〕

*生態的資源目録

（地質、地形、植生、水質、景観、…）

*環境劣化を防止する施設・装置

（廃棄物処理場、下水道、…）

*社会的資産

（法制、税制、教育、コンセンサス）

（現存資源の網羅的列記、資源の種類での分類、ある環境問題への危険性といった各レベルでの整理がある）

指標（自然度、多様度、施設の効率・余裕度、コンセンサス発達度、…）

〔人間活動量の定量化〕

*基礎代謝量（食物、排泄物、…）

*生産・環境とのふれあいにより消費される資源量（農業、工業、レクリエーション）

*施設・装置等の建設、維持に必要な資源量

*社会的資産を得るのに必要な労力

指標（負荷発生度、代謝完結度、生産力、施設の経済性、…）



〔環境容量としての評価〕

*人間活動量を負の資源、あるいは資源消費速度と定量化

*renewable 供給と見合っているか？、non-renewable—枯渇する時間？

指標（利用率、充足度、再生度、頑健度、安全度、切迫度、時間遅れ…）



〔総合判断〕

*環境資源の価値の評価及び危険性のランクづけと対策案の検討

指標（環境容量の残量、将来への負担度、住民の自治性、管理のし易さ…）

図 1 地域環境計画への環境容量概念の利用

2. 自然浄化能の定量化

宗宮 功 (京都大学工学部)

1. はじめに

自然界における汚濁物の浄化機構については、多くの場で数多くの研究が、多方面から、それぞれの価値判断において繰り広げられてきている。浄化能の中身を科学的に区分けし、評価・位置づける事なく自浄能や環境容量を用いた研究が重ねられてきているのが現況であり、従って、自然とは何か、自然環境とはどのような状況を指すのか、人為環境とはどこで界線をひくのか、あるいは自然の浄化と自然界への人間の働きかけとしての人為的浄化とは何をもって何処で区別するのか、はたまた光合成作用のような自然界での有機物生産過程は自濁現象として位置づけるのか、等の問いに十分答える統一的な解釈や評価がなされて来なかったところに問題がありそうである。今これら概念の総まとめとして、一つの解釈を与えようとする今回の特別研究の成果に期待するところは大きいものがある。

検討の場を、水環境及び土壌環境で、水の流れに乗って物質が循環する場での汚濁物質の挙動を中心に考えることとする。従って、主として水に係わる環境内での浄化機構ないしは浄化能について議論をすることとなる。今日のテーマとした標記題目は、本年度文部省重点研究領域である「人間—環境系の変化と制御」に関する研究の1テーマとして取り上げられたものである。本年度着手した3年計画の研究であり、現時点で必ずしも十分煮詰まった成果をえていない。ここでは、先ず取り上げられているおよその研究領域を紹介し、さらに、従来から公表されている自浄作用に関する多くの論文を調査し、精査した結果から、各研究者が自浄作用をどのような場でまた相で想定し、さらにどのような反応を取り上げて研究展開をしてきたかを概観し、これを基に水環境関連自浄作用として取るべき領域の限界を概観してみる。これらの考え方ないし方向性を含め、水域自浄作用に関連する諸反応の内対象として取り上げられる因子群の内から、例えば有機物、窒素及びリンに限って、それらの水系内での循環を把握する立場から、湖沼、河川、海域用として開発中であるシミュレーションモデル用の関連反応速度式群表示を例示的に紹介する。なお、これらは未完成ではあるが、浄化機構に関する一般的な概念を総まとめにする上での参考資料として提示するものである。

2. 重点研究領域での自然浄化研究域について

従来から進められてきた環境科学関連の研究はどちらかといえば環境関連研究分野の裾野を広げ、多くの研究者に環境管理の必要性や緊急性を把握してもらうことも一つの目的であった。結果的にかなり幅広く浅い研究展開がなされ、必ずしも現実の環境管理に十分適用しうる形で成果が整理されていないとの見方があり、新たな重点領域研究にあっては、より現実的に、利用可能な情報とするため、3年を目途に従来の研究を網羅し、不足分は実験で補いつつ、総まとめをす

ることが要求されている。

「自然浄化機能の定量的把握」班では、土壤環境並びに水環境の有する自然浄化機構を構造的に的確に把握し、汚濁物の変化過程を定量化し、その機能を評価し、環境悪化を改善、復旧すると共に、長期的にみて、快適な人間生活を確保する上での、人間活動と自然とのあり方を水環境保全の観点から検索するところにある。ただ、この目的は高まいであるが故に書いてある限りでは理解できるが、実際に定量化するに際しては必ずしも十分な表現ではない。この班の研究領域を模式的に示したのが図1である。研究スタッフの一覧を表1に各研究者の研究項目とともに記した。

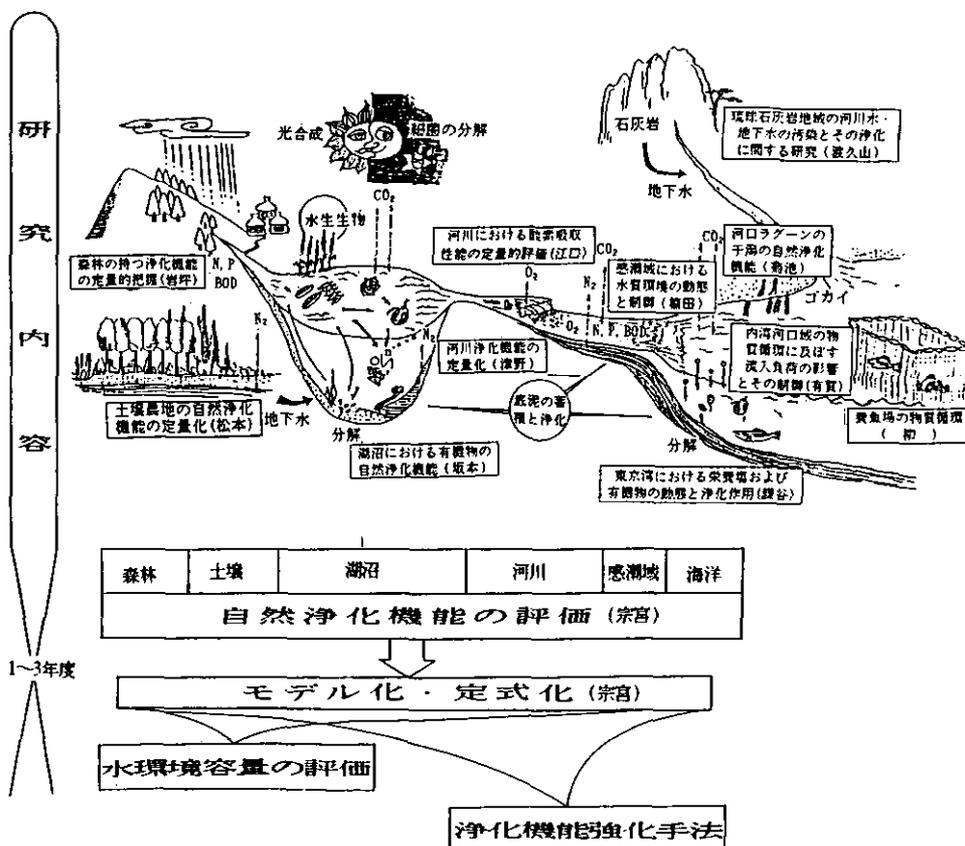


図 1 研究領域と関連性

表 1 自然浄化機能の定量把握

研究者（所属）	研究テーマ
（計画班）	
宗宮 功（京大・工）	自然環境における浄化機能の定量評価手法に関する研究
岩坪 五郎（京大・農）	森林の持つ浄化機能の定量把握
松本 聡（東大・農）	土壌農地の自然浄化機能の定量化
坂本 充（名古屋大・水研）	湖沼における有機物の自然浄化機構
津野 洋（京大・工）	河川の自然浄化とその機構
江口 彌（京大・工）	河川における酸素吸収性能の定量的評価
楠田 哲也（九州大・工）	感潮河川における自浄作用
鎌谷 明善（東京水産大）	東京湾域における栄養塩及び有機物の動態と浄化作用に関する研究
（公募班）	
菊池 永祐（東北大・理）	河口ラグーンにおける浄化作用
有賀 祐勝（東京水産大）	多摩川からの流入負荷と東京湾内生産性
柳 哲雄（愛媛大・工）	養殖漁場における有機物収支
渡久山 章（琉球大・理）	石灰岩地帯の表流水地下水における汚染物質の挙動

計画研究の対象場として森林、農地、湖沼、河川、感潮域、海域を設定し、降雨がもたらす森林内での物質変化、畑地での浄化能の把握、河川での酸素収支、湖沼内での物質収支、感潮河川や閉鎖性内海での物質収支を取り上げ、さらに、干潟を含む河口域での浄化反応、養殖場での物質収支や地下水での汚濁物収支が取り上げられている。各場での物質循環を物質収支を取りつつ理解し、速度変化を表記するという立場から研究展開を進めつつある。水系関連といっても、非常に幅広い場であり、各分野での自然浄化能に対する概念も異なり、必ずしも統一した自浄作用や自浄能に関する定性的な位置づけが困難であるが、それぞれの分野での解釈や考え方を互いに披露し、理解し合い、結果として、ある概念がまとめ上げられるのであれば望外の成果であろう。そこで、敢えて班会議の際、概略以下のような極端な自浄作用の考え方を提示し、自浄作用に関する概念の整理及び論議のたたき台としてみた。

例えば、水域関連で最も包括的な自浄作用とは「自然状態下での流域内生物相互関係の作用によって、炭素系有機物は炭酸ガスに無機化し、窒素系物質は無機化過程を経て、脱窒過程と進み

さらにガス化し、リンは無機固形物として固形化する過程」であって、「再度人間生活の場である水域内の諸現象に関与するまでに相当の時間を要するものとなる様な作用」と与えてみた。いわば、地球の水・大気環境やその組成、地球造岩構造や地下資源等をも包含した物質の大循環系を対象としたものである。只、残念ながら、このレベルいわば地球レベルでの有機物生産と分解、あるいは栄養塩の遍在性と質変化機構、さらには太陽エネルギーの蓄積や消費レベルからの環境容量を検討し、自浄作用と位置づけて展開された考察はほとんど見あたらないようである。むしろ従来の浄化機構研究はより小さな各場毎の現象論を忠実に再現・評価しようとするものが多く、従ってもっと小さな物質循環を対象とし、例えば、有機性汚濁問題対策として河川でのBODの挙動とそれに伴う酸素消費、あるいはアンモニア性窒素の硝酸化に伴う酸素消費と言った程度の現象を浄化作用と見なし、川に魚が戻ったとかホタルが帰ったといったレベルで論議されたり、受け入れ水の受容負荷量決定の道具として環境容量が重宝される程度の活用しかされていない。一般には、対象とする場を時間的、空間的な大きさを設定した上で、それぞれに興味や関心のあがる反応を取り上げ、水もしくは水辺が人間にとって都合の好くなる状況は浄化と考える場合が多い。ただこの場合、人間も地球上の自然生態系の一員であることを忘れて第三者的に振舞おうとする立場性が問題視される。何れにせよ、ある断面での水量収支や水質収支の面から解析を進める必要があり、対象流域内での水文・水理事象や生態学的諸事象を抜きにして浄化機構を論じえない事は論を待つまでもない。

3. 従来の文献に見られる自浄作用の範囲と関連要素の整理

JICSTで「自浄作用」というテクニカルタームの文献を調査し、632編の論文を得たが、その中にみられる自浄作用と類似のテクニカルタームを取り出してみると、表2の様な結果が得られ、環境科学分野においても研究者各々が描いている浄化作用の概念や表記法もかなり異なることが伺いえる。

表 2 自浄作用関連用語と頻度 (JICST-環境科学)

自浄作用	588-3	浄化	46-1	水浄化能力	0-2
自然浄化作用	1-0	水質浄化	0-1		
自然浄化	0-2	水質浄化能	1-0		
自然浄化機能	0-1	汚水浄化	0-1		
環境浄化	0-1	海水浄化	0-1		
環境浄化機能	0-3	土壌浄化	0-2		
環境浄化容量	0-2	河川浄化	1-0		
環境容量	8-0	生物学的自浄作用	1-0		

表 3 各場の文献数と出現順位

場	文献数	出現順位(平均キ-ワ-ド数)
河川	228	5.3 (10.6)
海洋	112	5.9 (9.8)
土壌	64	6.3 (11.6)
湖沼	59	7.1 (11.6)
感潮域	14	8.9 (10.8)
その他	111	6.4 (11.4)

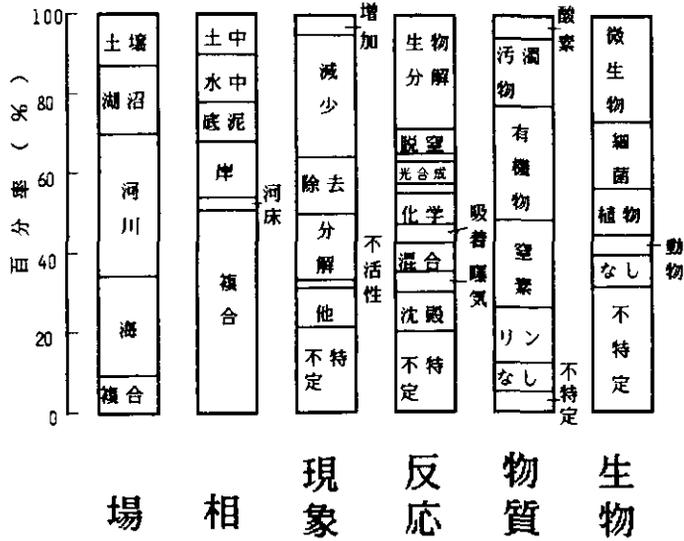


図 2 自浄作用の定義に係わる関連用語の使用頻度

4. 自浄作用の力学モデル

水環境並びに土壌環境における水関連の自浄作用について、どの場で、どの様な反応までを考慮に入れるかによって、開発される動力学モデルは著しく異なってくる。このため、開発されたモデルは当然適応の場に限界があり、総括的に万能的に利用出来るモデルの提示はまったく不可能であろう。結果として、各場に関連する各単位反応を式化し、必要な箇所を積み上げて、全体像を予測するといった方式をとらざるを得ない。ここでは、第1節で示したごとく、水質関連項目として有機物、窒素、リンを取り上げ、それらの挙動を化学量論を踏まえて、物質収支を取り、各場での物質循環を表示し、これらの物質の水中での変化を表記することとする。ただ、得られた結果はある場合にはそれが浄化と評価されるものであったり、ある場合には汚濁と位置づけられるものであったりする。

いま、湖沼・河川域を対象として、水側並びに底泥や沿岸帯での関連各種反応を模式的に描き、相互関連を示したのが図3である。この図には当該流域からの水文・流動特性は表記していないが、当然別途に配慮されるべき事項である。さて、図では主として沈水抽水植物や付着性・浮遊性藻類に関する光合成反応、動物プランクトンによる分解、細菌による有機物分解、アンモニフィケーションや硝化作用、粒状物質の沈殿、底泥の形成と分解、有機物や栄養塩の回帰あるいは浮上といった事象が関連している。

これらに関連する状態変数として、生物群並びに関連水質に関して13項目を選定し、さらに過程として22項を考慮したものが表5である。生物群としては、植物、藻類、動物プランクトン並びに好気性細菌（他栄養性並びに自栄養性）、脱窒細菌を考慮し、それぞれに増殖過程、死滅過

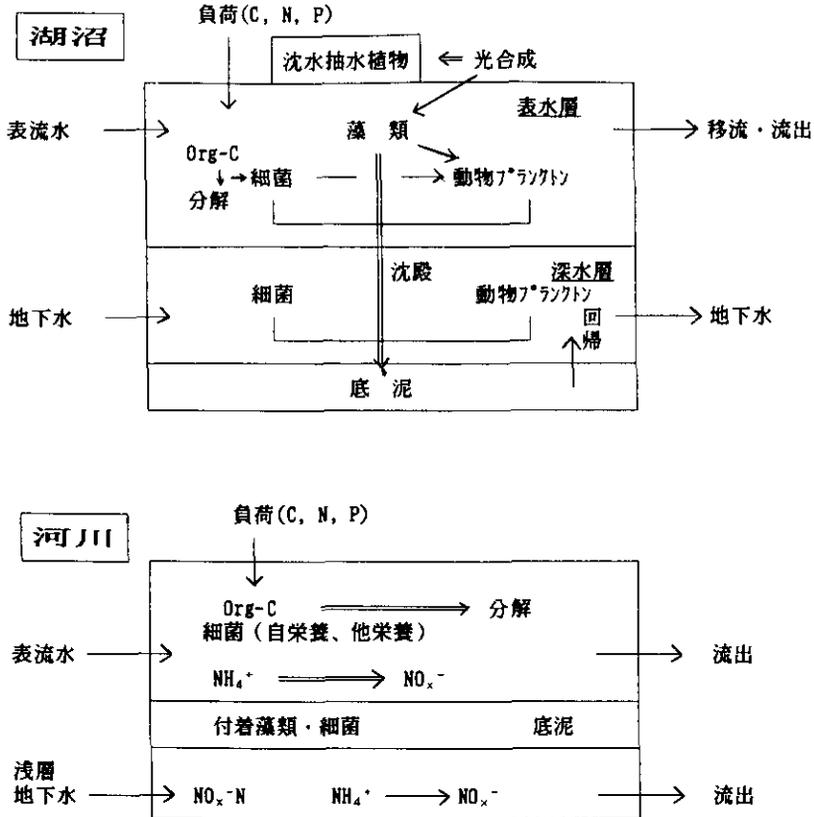


図 3 湖沼・河川域を対象とした水側並びに底泥や沿岸帯に関連する各種反応

程あるいは排除過程等を考慮して速度式を与え、さらに、粒状物の沈殿、リンの吸着過程と沈殿過程との速度式を示している。なお、底泥からの回帰や浮上については本来底泥回りの物質収支モデルを開発し、そのモデルからの情報として水側の負荷を当てるのが妥当であるので、この表では定量回帰として表記するにとどめる。一方、関連水質値としては、各関連微生物濃度(量)のほかに、溶解性有機物(易分解性有機物相当)、固形性有機物(非生物性)、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、オルトリン酸性リン、溶存酸素を取り上げている。本表の利用法は、問題とする状態変数に関し、表中の上欄から下欄に向けて、係数値が記されている項について、その係数(+、-をも含めて)を過程の速度式に乗じて順次加算すれば、関連する項のその水系内での変化速度が求められる。なお、関連因子としてはこのほかに、各水質因子の内固形性成分あるいは総量(T-N, T-P)の表示、さらに魚類の挙動、pHやアルカリ度、その他ミネラルや微量物質等が上げられるが、より簡便に自浄作用に関連する速度過程を表示する意味から、中心的な水質に限定したものである。なお、この表は必ずしも最終的なものでなく、なお、改良途中のものであり、多くのご意見をいただき改良・改善して行きたいと思っている。

表 5 湖沼・河川・海域のための水相自浄作用の関連収支バランス式群

状態変数 x_i	01 水生植物	02 好気性他栄養	03 嫌気性他栄養	04 好気性自栄養	05 原・後性動物	06 植物プランクトン	08 有機物溶解性	09 (非生物性) 固形性	10 窒素 NH_3	11 NO_x	12 磷 PO_4	13 溶存酸素 DO	過程の速度 ρ_j [$\text{ML}^{-3}\text{T}^{-1}$]
01 (沈水) 増殖	1												$\rho_{01} = \mu_1 X_1$
02 (抽水) 枯死	-1												$\rho_{02} = -k_2 X_1$
03 植物 排除	-1							1					$\rho_{03} = -k_3 X_1$
04 植物 増殖						1							$\rho_{04} = \mu_4 X_0$
05 プランクトン 死滅						-1						γ_{PD0}	$\rho_{05} = -k_5 X_0$
06 原・後性動物 増殖	$-1/Y_{Z1}$				1							$-\delta_{P2}$	$\rho_{061} = \mu_{01} X_6$
07 性動物 死滅					1	$-1/Y_{Z2}$							$\rho_{062} = \mu_{02} X_6$
08 細菌 (他) 増		1											$\rho_{07} = -k_7 X_6$
09 死		1											$\rho_{081} = \mu_{01} X_8$
10 (脱) 増		-1											$\rho_{082} = \mu_{02} X_8$
11 死			1										$\rho_{09} = -k_9 X_8$
12 (硝) 増				1									$\rho_{10} = \mu_{10} X_3$
13 死				-1									$\rho_{11} = -k_{11} X_3$
14 吸着 窒素													$\rho_{12} = \mu_{12} X_4$
15 燐													$\rho_{13} = -k_{13} X_4$
16 沈殿 藻類													$\rho_{14} = -k_{14} X_{10} X_R$
17 有・非生・固													$\rho_{16} = -k_{16} X_{12} X_R$
18 浮上 藻類													$\rho_{18} = (k_{S10}/d) X_9$
19 有・非生・固													$\rho_{17} = (k_{S17}/d) X_9$
20 回帰 有機													$\rho_{18} = R_{18}$
21 窒素													$\rho_{19} = R_{19}$
22 燐													$\rho_{20} = R_{20}$
化学量論係数等の定義								状態変数 x_i の変化速度 $r_i = \sum(j) \{a_{ij} \rho_j\}$	動力学パラメータ等の定義				
収率係数 [-]	燐含有率 [mgP/mgCOD]							増殖速度定数 [1/day] ; μ					枯死・死滅速度定数 [1/day] ; k
$Y_{Z1}, Y_{Z2}, Y_{H1}, Y_{H2}, Y_{DH}$	$\gamma_{PLP}, \gamma_{PP}, \gamma_{ZP}, \gamma_{PH}, \gamma_{PDH}, \gamma_{AP}$							吸着平衡定数 [1/day $\cdot gX_R$] ; K					沈降速度 [m/day] ; k_s
収率係数 [mgCOD/mgNH ₄ ⁺ -N]	可溶化率 [-]							水深 [m] ; d					無機粒子 [gm^{-3}] ; X_R
Y_A	$\delta_{01}, \delta_{21}, \delta_{H1}, \delta_{DH1}, \delta_{A1}$							泥からの浮上・回帰速度 [$\text{gm}^{-3}\text{hr}^{-1}$] ; R					
窒素含有率 [mgN/mgCOD]	無機化率 $\delta_{P2}, \delta_{Z2}, \delta_{H2}, \delta_{DH2}, \delta_{A2}$												
$\gamma_{PLN}, \gamma_{PN}, \gamma_{ZN}, \gamma_{NH}, \gamma_{NDH}, \gamma_{AN}$	酸養生成率 [mgDO/mgCOD]												
硝化酸素消費率 [mgDO/mgNH ₄ ⁺ -N]	γ_{PD0}												

3. 環境基準・環境指標・環境容量

原沢英夫（国立公害研究所総合解析部）

1. はじめに

『環境容量』という言葉は、昭和42年ごろから使われはじめ、環境行政上表だってとりあげられたのは、昭和47年12月に中央公害対策審議会から、環境庁長官に提出された環境保全長期ビジョン中間報告の中であろう¹⁾。中間報告の中でとり残された問題の第一として、『環境容量の把握』を挙げている。少し長くなるがその部分を引用すると以下のとおりである。

『われわれは、いわゆる環境容量の範囲内で人間活動を行うような環境管理システムをつくる必要性を痛感するが、容量設定の基礎となる自然の浄化能力について、これまで知り得たものはほとんどないといっても過言ではなく、またどういった質の環境を日本列島のどこにどれだけ確保しておく必要があるのかの判断基準も不明な点が多い。この種の問題解明には5年、10年あるいはそれ以上の長い年月をかけた調査研究が基本的には必要であり、そのためには自然サイクルの情報を常に正確に受取り、それを評価していくサーベイランスシステムの確立が急務である。』

環境容量の概念については、例えば、昭和47年に水系を中心とした環境容量に関する調査報告書¹⁾の中でも定義され、幾つかの具体的事例が紹介されている。環境容量は、中公審の中間報告にあるように、自然の浄化力を中心とするイメージが強く、それゆえに定量化も困難な印象を与えるためか環境容量に関する研究については、その後余り進展していない。一方、環境行政の点からは、環境容量概念が、総量規制の一つの理論的背景となって今日に至っている。総量規制は、それまでの濃度規制では水質回復の困難な閉鎖性水域を対象に、水域の『許容汚濁負荷量＝環境容量』を求め、そこへ流入する総汚濁負荷量との差分を削減すべき汚濁負荷量とし、流域内に適正配分を図ろうというものである。

昨年4月からスタートした特別研究『環境容量から見た水域の機能評価と新管理手法に関する研究（略称、環境容量特研）』は、環境容量概念を明らかにし、それを流域管理に活用する方法論を展開することを主眼としている。中公審の中間報告に環境容量が登場して15年を経過した今日、再度環境容量を考える研究をスタートしたわけである。これまでに湖沼の富栄養化や自然浄化現象について知見を集積してきたこと、また環境基準が設定され、公共用水域の水質測定調査が開始されて以来、膨大な量の水質情報が蓄積されていることを考慮すれば、環境容量を再考するための材料は多く揃っていると言えよう。しかしながら、本特別研究には多くの分野の研究者が関わっているわけだが、各人各様の環境容量のイメージを持っているために、環境容量の定義等に関しては中々議論が噛み合わないことも多く、環境容量の重要性、必要性については基本的理解はあるものの、統一した『環境容量』の定義は出来ていない。

本稿では、先ず環境容量を背景として推進されてきた総量規制的手法を取り入れた水質管理計画を概観した上で、環境容量と環境基準、さらに環境指標との関連性について述べ、未だ不十分

であるが環境容量概念を取り入れた水域評価の研究のフレームワークを示す。

2. 環境容量概念を用いた水質管理計画の具体的事例

従来の環境容量の考え方については、内藤が種々の研究や調査報告を整理し、それぞれで言う『環境容量』の相違を明らかにした上で、統一的な『環境容量』の体系を示し、今後の研究の方向も示している²⁻⁴⁾。県レベルの水質管理計画で用いられている環境容量は、内藤の定義によれば、第一種の環境容量に相当する。第一種の環境容量とは、『環境の状態量になんらかの外的規範（例えば環境基準）を設定し、この範囲内で人間活動（例えば、汚染の排出総量など）を適正に配分するための基礎を与えるもの』としている。これに対し、第二種の環境容量として、『自然又は、社会生態系の安定を保持するというような絶対的な条件の下に、人間活動の限界を設定する根拠とつながるもの』と定義している⁴⁾。

昭和50年前後から県レベルの水質環境管理計画の策定が開始された。大阪、兵庫、宮城、鹿児島などでは、定義に若干差はあるものの、上述の第一種の環境容量を具体化して、それを基に計画を作成している。以下に各計画で用いられた、主として水質に関する環境容量について概観し、実用化されている第一種の環境容量の特徴について検討する。

2. 1 大阪府環境計画における環境容量⁵⁾

大阪府環境計画はBIG プランと称され、昭和48年に策定された（その後、57年には環境総合計画—STEP21が策定されている）。環境管理の基本的考え方は、環境の汚染が進行し公害問題を生じたのは、一定の環境内で自浄作用による浄化能を上回る汚染物負荷が発生したからであり、環境固有の自浄能力によって、浄化する限度以下に汚染物質の排出量を抑える必要があるが、この浄化する限度を環境容量とし、排出規制などの対策を立てる根拠としている。自浄能力からみて許容される汚染物質の排出量が、何れの地域においても許容量以下であれば、その環境は自然環境そのままの状態に維持されることになる。

・環境容量の定義

しかしながら、自浄能力が定量的に把握されない段階では、具体的に設定する人の健康に係わる物質についての環境容量は、少なくとも人の健康を維持するために設定された閾値の達成を目標として、あわせて可能な限り自然環境を保全しうるように設定することが必要であり、大阪府の場合、定義は『自然が汚染物質を浄化する能力』だが、具体的数値は『環境汚染度を一定レベル以下に維持するための総排出量』としている。

・水質環境容量

河川、海域の場合は自浄作用の範囲内に汚染物質の排出を抑えるよう配慮することになる。しかし、自浄作用の機構が不明、水系の排出源が多い、感潮部での現象が複雑、短小な河川が多い等現状で許容負荷量の設定は困難と判断し、河川では、水道水源の水質保全、都市河川では魚の住める環境を確保、大阪湾では、富栄養化の防止、内水面、海面の漁場の回復、保護を目標とし

て、目標達成のための総排出量(BOD, T-N, T-P)及び大阪湾流入負荷量(COD)を設定している。目標値としては、環境基準及び府独自の項目と基準値を採用している。

2. 2 兵庫県環境計画における環境容量⁶⁾

県内を自然条件・社会条件等により9つの環境区に分け、環境区の汚染物質の削減対策、土地利用適正化、工業配置、緑の自然保全をはかるために、環境容量を導入した。環境容量の定義は、『自然のもつ浄化能力と人工的な能力を数値化したもの』としたが、自然浄化能力の解明がされていないことから、環境基準の目標達成を掲げている。

・水質環境容量

水質を一定の目標基準以下に維持するためには、水質の環境容量を設定し、地域内の汚濁物質の発生量を環境容量以下に維持することが必要である。環境基準点ごとに流域をブロック分割し、基準点における目標を設定するためのBOD負荷量をブロックごとに求め、これをブロックにおける環境容量とした(1式)。

$$\text{環境容量 [kg/日]} = C_o \times Q \quad (1)$$

ここで、Q:基準点における平水流量〔千 m^3 /日〕, C_o :平水流量に対するBOD〔ppm〕である。目標基準=環境基準とし、環境基準点のないところは、近くの環境基準点から推定している。

2. 3 宮城県環境管理計画における環境容量⁷⁾

・水質環境容量

水質に係わる環境容量は、河川、湖沼、海域の各水域ごとに定めた環境保全水準を維持しうる許容限度量としての汚濁負荷量をもって環境容量とすることを検討したが、環境容量を設定するに足る資料及び科学的知見が不足していることから、環境保全水準をもって環境容量とし、具体的値としては、BOD, COD環境基準を採用している。又、流域別下水道整備総合計画が策定されている河川については、計画において設定されている環境基準点における低水流量と低水流量時における環境基準の積として算定された『許容流出負荷量』をもって環境容量とした。

・自然環境容量

宮城県では、水質の他に、大気環境及び自然環境容量の算定を行っているが、自然環境については、指数群を用いたユニークなシステムを導入しているので、参考のため紹介する。

まず、『植物評価度』『動物評価度』『景観評価度』より、それぞれ『植物自然充実度P』『動物自然充実度A』『自然景観充実度L』を算定し、これにより『自然環境質指数S』を次式で求めて、県内各地の自然環境の現状を把握する。

$$S = P + \{ (A - P) n' + (L - P) n'' \} / n \quad (2)$$

ここで、 $n = 6$, $n' = 5$, $n'' = 1$ は重みである。

そして、今後新たに農地や山林、原野を宅地、工業用地の用途として開発しようとする際に、対象地域において保護、保全すべき自然環境の最低水準を数値で表現する『グリーンミニマム』

を導入している。自然環境容量は、地域の自然環境の賦存状態を表すもので、『グリーンミニマム』が設定されている地域では、地域面積とその地域のグリーンミニマムの積の数値で表し、単位は $N \cdot C$ (Natural Capacity) を用いる。グリーンミニマムを設定しない地域は、直接、環境容量は設定せず、地域の自然環境指数と地域面積との積によって求められた数値を自然環境賦存量として表し、将来、地域を他の用途に変更する場合にはグリーンミニマムを設定したうえで改めて環境容量を設定する。

2. 4 和歌山県の事例⁸⁾

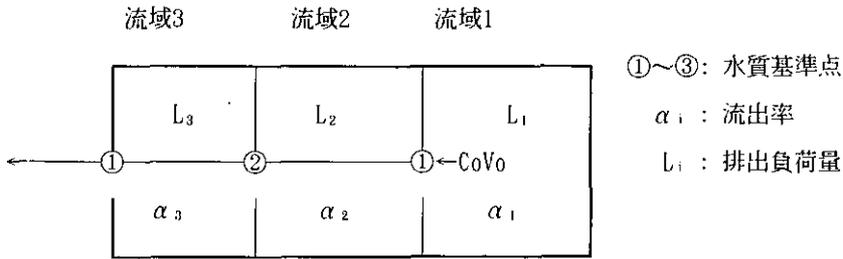
・水質環境容量

水質を確保しながら開発を適正に誘導するために、各地点でそれぞれ環境基準を満たす環境容量を算出し、流域の適正な負荷量配分を行う。紀の川流域を56の小流域に分割して、環境基準を満足しながら、各小流域から排出できる負荷量(許容負荷量)を求める。すなわち、環境容量=許容排出負荷量として、現況の排出負荷量との関係で、各小流域の開発可能性、対策の必要性を判定している。

・環境容量の配分プロセス

図1は、負荷量配分の計算手順を模式的に示したものであり、従来の総量規制的手法の代表的な例である。流域を小流域に分割(ステップ1)する。基準点での通過負荷量(l_1, l_2, l_3)とすると、これらは図1中の(3)式で表される(ステップ2)。このマトリクスを用いて、最適化手法により負荷配分量を計算することができる。すなわち、 i 点での通過負荷量を P_i とすると(4)式で表され(ステップ3)、これを環境容量(環境基準と流量をかけた許容通過容量) F_i に置き換える。これを線形計画問題に組み込んで定式化すると、目的関数は(6)式、また制約条件は、(7)、(8)式で表される(ステップ4)。この場合、自然浄化能力は、流出率 α の中に含まれていることになる。

・ ステップ 1 (流域の分割)



・ ステップ 2 (負荷量収支の算定)

地点1 の通過負荷量 $l_1 = L_1 \alpha_2$

2 の通過負荷量 $l_2 = L_2 \alpha_2 + (L_1 \alpha_1) \alpha_2$

3 の通過負荷量 $l_3 = L_3 \alpha_3 + [L_2 \alpha_2 + (L_1 \alpha_1) \alpha_2]$

$$\begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 \\ \alpha_1 & \alpha_2 & 0 \\ \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (3)$$

寄与率マトリクス(流出率のみで決定)

・ ステップ 3 (通過負荷量と環境容量の計算)

$$F_i = \sum (\alpha_{ij} \times L_j) + \alpha_{j1} \times CoVo \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$F' i = \tilde{C} \times Vi \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで, F_i : i 点での通過負荷量, $F' i$: i 点での環境容量

$\alpha_{i,j}$ = 流域 j から水質測定点 i への寄与率, $CoVo$: 最上流部での通過負荷量

\tilde{C} : 環境基準, Vi : 基準流量 (平水, 低水)

・ ステップ 4 (容量配分)

LP問題: 目的関数: $\sum Li \rightarrow$ 最大 $\dots\dots\dots (6)$

制約条件: $\sum (\alpha_{ij} \times L_j) \leq \tilde{C} \times Vi - \alpha_{i1} \times CoVo \quad \dots\dots\dots (7)$

$L_j \geq 0 \quad \dots\dots\dots (8)$

図 1 環境容量を用いた負荷配分プロセス

2. 5 従来の水質管理計画に見られる環境容量の問題点

取り上げた水質管理計画では、環境容量に基づいた総量規制の手法をとり入れている。環境容量に関する問題点について列挙すると、以下のようになる。

①自然浄化能力への依存性

環境容量＝自然浄化能力と捉えられており、充分解明されていない自浄作用を基礎としている点で共通しており、自然浄化能力に期待しすぎることが先ず挙げられる。人工的な浄化能力も加味している場合もあるが、定義と定量化方法とは対応していない。

②地域一律の環境容量の適用

環境容量による総量規制の主たる対象地域は既汚染地域であるため、環境容量を数値化した『許容汚濁量』を、未汚染地域や汚染の軽微な地域に適用する時、地域の環境をその限度まで汚してよいと言った解釈も出てくる。これらの地域では環境容量は0とすべきと言った極端な意見もみられる。このことから、環境容量の設定は地域に一律ではなく、地域条件や水域の汚染状況をきめ細かく考慮する必要性が指摘できる。

③外的基準としての環境基準

第一種の環境容量は環境保全水準などの外的基準を維持しえる許容限度と定義されているが、環境保全水準の設定については、基本となるべき自然浄化能力に関する知見が乏しいことなどの理由から、実際は、環境基準で代表させたり、あるいは、他計画で採用された許容流出負荷量をを用いたりしている。環境基準との関連については、3. で取り上げる。

④重金属などの取り扱い

環境基準を代用することにより、評価する水質指標はBOD、CODが中心となっている。一方、化学物質などの濃縮現象や重金属などの蓄積現象を伴う汚染物質については、許容量といった概念は馴染まず、容量は設定しえないか、常に0とすべき性質のものであるとされている。難分解性や蓄積性の有害物質は発生源で極力排出しない措置をとることが原則であるが、今後も水質管理上ますます重要度を増すことは確かであり、これらの物質についても第二種の環境容量の点から検討しておく必要がある。

⑤環境容量の適正配分

算定した許容負荷量は最適化モデルや水質シミュレーションモデルを用いた解析などから、流域の支流域やゾーンに配分される。現況の排出負荷量よりも多い場合には差分を開発可能量、逆の場合は削減必要量という形で、流域内の人間活動、具体的には、用水型の工業立地や負荷源となる住宅地区の開発の適否が検討される。逆に現況の排出負荷量が越えているところでは、下水道の整備など、種々の対策を立てることが緊急課題となる。②とも関連するが、解釈によっては開発促進すべき流域といった捉えかたもされる恐れがあり、未汚染地域の保全などの考え方を明らかにし、適正配分の基準を明確にすることが必要である。

3. 環境基準

3. 1 第二種の環境容量と環境基準

総量規制や水質管理計画にみられる環境容量についての問題点のうち特に重要な点は、外的基準として環境基準が用いられている点であろう。生活環境に係わる環境基準は主として水域の水利用の適否を基礎にしていると考えられ、水域の生態系や自浄能力といった観点は考慮されていない。また、行政の努力目標としての位置づけがなされていることを考えれば、環境基準を環境容量算定の根拠とする現在の方法では、発展性がないと言えよう⁴⁾。ただ、今日環境基準は水質管理の中心的役割を担っており、これを全く無視した環境容量の定義と応用は、現実的でないことも確かである。環境基準自体も水質項目、基準値や評価方法など種々の問題が生じてきており、見直しの必要性が指摘されている。環境基準の見直しが何時どのように具体化するかは定かではないが、見直しの際には、第二種の環境容量を含めた環境容量論が大いに議論されるべきではないかと考える。

第一種と第二種の環境容量は、観点が異なり相入れない概念のようにみえるが、それらを結ぶものがあるとすれば、環境基準に他ならないであろう。但し、一つの行政上の努力目標としての、また生活環境保全を目的とした狭い意味での環境基準ではなく、自然生態系の安定性や保全の観点を内包した広義の環境保全水準とも呼ぶべきものであろう。現在の環境基準が、水生生物などの保全等への考慮は皆無ではないにしろ、主として水利用面から設定されていることを考えると、人間活動側に立った基準であると言える。一方、環境保全水準は、人間を含めた生態系からみた環境基準とも呼ぶべきものである。

3. 2 湖沼の生態系の安定性

それでは従来の環境基準を越えた環境保全水準を求められるかが次の問題となる。即ち、自然生態系や社会・都市生態系の安定性を保てるような絶対的条件を求めることができるかである。自然生態系の安定性に関しては、carrying capacityと言う考え方があり、環境容量の英訳ともなっている。一般的には、生物群の成長と動態を示すpopulation carrying capacityを示すが、Bishopらは、carrying capacity の概念を人間・都市生態系に拡張適用した事例を示している⁵⁾。その中で、安定性(stability)と回復性(resilience)が重要であること、またcarrying capacityは変化するものであることを強調している。即ち自然を含んだ都市生態系では、carrying capacityを越えての成長は、資源の急激な減少を引き起こし、新たな低いレベルで安定化したり、また技術革新(自然界では、突然変異か)によりcarrying capacityを増大させることも可能となり、その場合には、環境悪化なしに、人口や人間活動、維持しえる生物量を増大させることが可能となると述べている。

生態系の安定性や汚染に対する回復性を調べる方法としては、長期間にわたって生態系のモニタリングを行うか、或いは数理生態学的手法、具体的には生態系を模擬するモデルを作成し各種の条件下でその挙動を解析する方法がある。前者については、安定性解析に耐えるだけのデータ

が存在する湖沼は極めて少ないこと、後者については、計算機の発達した今日では、比較的容易に数値実験ができるが、ともすると数値計算そのものの影響を受け、結果の評価が難しくなる場合もあることなど、解析法そのものが確立しているとは言えない。

ここでは、本特研で主たる対象としている霞ヶ浦について現在入手しえる限りの長期データを提示し、安定性解析の可能性について考えてみたい。数十年オーダーで過去の状態を遡れる湖沼は少なく、また、遡れてもせいぜい50～100年程度である。霞ヶ浦については、漁獲量、透明度については比較的長期の資料が入手しえるが、他項目の水質データは最近15年程度に限定される。図2はそれらのうち代表的な項目の経年変化を示したものである。

昭和49年に、霞ヶ浦で最後の歩崎水浴場が閉鎖されたが、それ以前は湖のいたる所で、水浴ができたと言われている。湖の水質悪化は、30年代に始まる高度経済成長期に、流域の人間活動が著しく増大したことにより、引き起こされたと考えられる。例えば、図3は流域内の人間活動の指標として、人口、工業出荷額、取水量、畜産（養豚、茨城県全体のデータ）の経年変化を示したものである。図2、3を比較すると流域内の急速な人間活動が、それまで徐々に進行していた湖の自然の富栄養化を、人為的に加速したことがわかる。

図2に示した漁獲量データは、湖生態系を表す項目として必ずしも妥当ではないが、湖生態系の変化を表しているものとして興味深い。昭和30年代までは、5,000トン/年であったが、昭和40年代に入って10,000トンを越え、昭和50年頃には18,000トン/年まで増大している。また、魚種もわかさぎなどの市場価格の高い魚から、いさぎ、ごろなどの雑魚の割合が増大しており、魚種構成が変化したことを示している。

これらのデータを概観しただけでも、昭和30年代までの湖は水質的にも生態的にも安定しており、人間と湖が共存していた時代であったと考えられる。その後の人間活動の活発化が、湖生態系の不安定化を招いたことは、魚種構成の変化やアオコの大量発生など、以前には見られなかった現象が短期間に生じたことから明らかである。湖の水利状況も総合開発計画による湖堤防の建設や、常陸川水門の建設と管理・操作など、昭和30年代当時に比較すると、相当程度変化しており、こうした水資源施設の建設も生態系の安定性に大きく影響していることが考えられ、湖生態系の解析を難しいものになっている。

毎年決まって夏にアオコが異常発生しており、これも年周期を持った一種の安定状態とする見方もできるが、昭和30年代の泳げた湖における生態系の安定とは基本的に異なる種類の安定であろう。安定性の解析には、長期データに基づいた検討とそれを補う形での生態系モデルの利用が考えられるが、湖の安定性を保持しえる絶対条件を現段階で求めるのは、なかなか難しい。いくつか理由があるが、一つは安定性の定義についてである。線形システムに関しては、安定性理論により、ほぼその挙動が予測評価できるが、湖生態系は極度に複雑な非線形システムであり、安定性の存在以前に安定性の定義すらも難しい。前述した毎年のアオコ発生現象を示すことを安定と考えることは、定義の問題かもしれない。第二に、湖の構造が年々変化していることである。

30年代以前の、湖と人間が共存できる程度の水質に戻すことが、茨城県や地域住民の水質浄化のスローガンとなっているが、水利用の形態も大きく変化し、水資源の大半を霞ヶ浦に頼っていることを考慮すると、人間活動を含めた生態系の安定性を考えることが必要であろう。

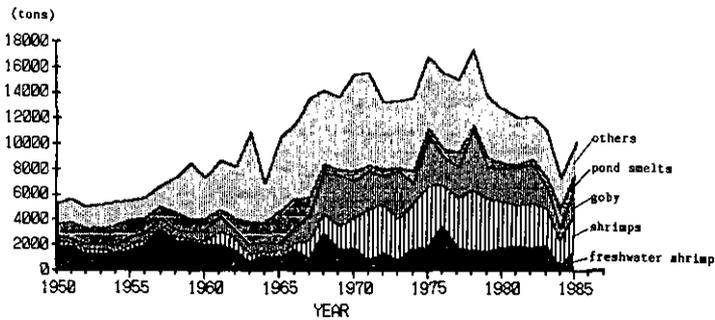


図 2-1 漁獲量の経年変化

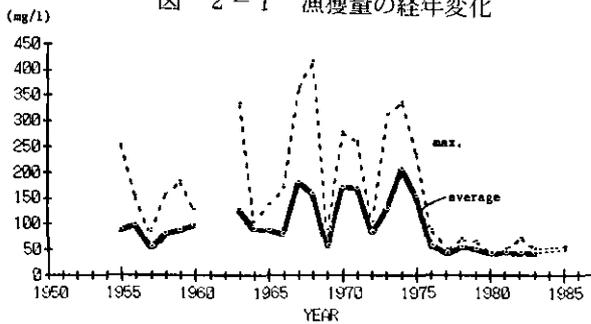


図 2-2 塩分濃度の経年変化 (湖心部)

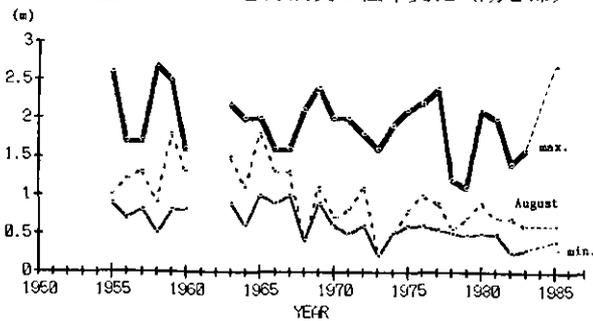


図 2-3 透明度の経年変化 (湖心部)

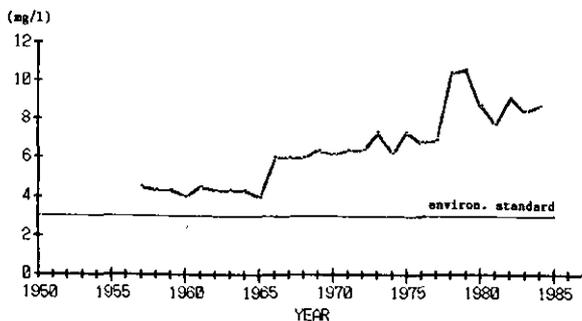


図 2-4 CODの経年変化 (3湖平均)

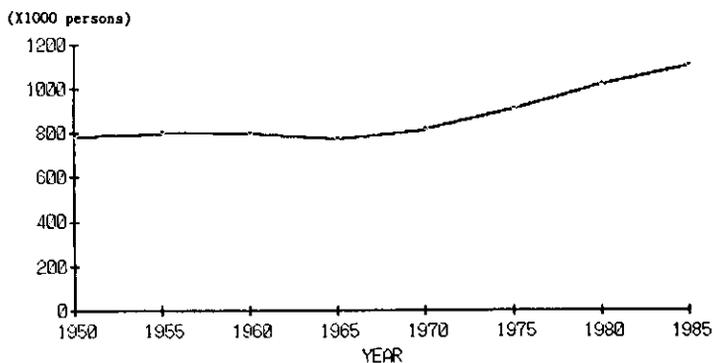


図 3-1 流域関連市町村の人口の経年変化

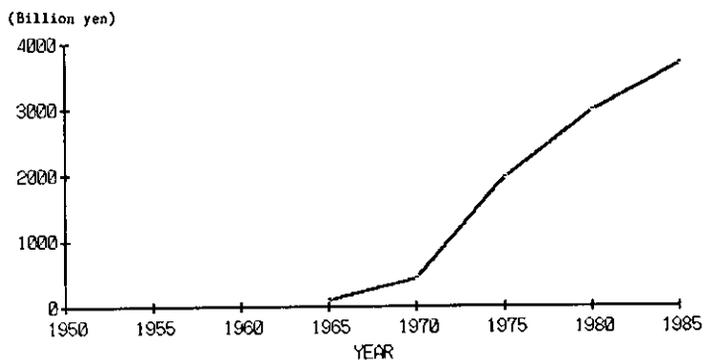


図 3-2 工業出荷額の経年変化 (流域関連市町村)

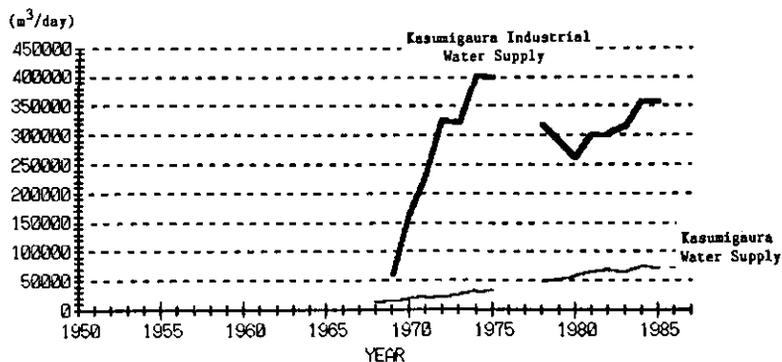


図 3-3 取水量の経年変化

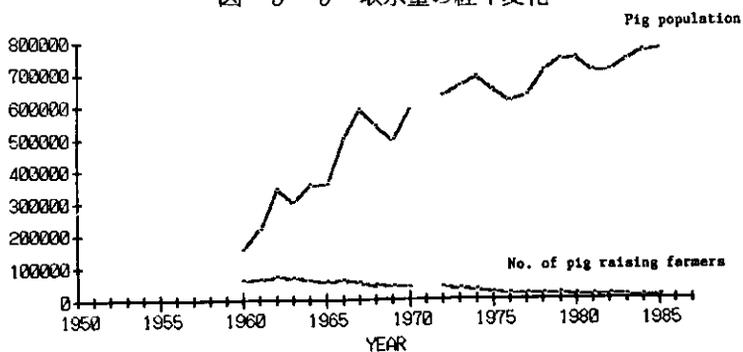


図 3-4 養豚 (養頭数と飼育戸数, 茨城県全体)

4. 環境指標による水域評価

第一種と第二種の容量を統合した新たな概念を確立し、さらにそれを行政レベルまでブレイクダウンすることは、湖沼に関連した情報が蓄積されていることを考慮しても、現段階では未だ困難な点が多い。そこで、研究の第一歩として、水利用を中心とした湖のもつ諸機能を評価するという視点から、研究のフレームワークを検討した。水域の機能評価を行うなかで、環境基準や環境容量を位置づけることが、遠回りになるけれども、実際的ではないかと思われる。

図4は、湖沼の機能評価の研究全体のフレームワークと、図5は特に評価部分を少し詳細に示したものである。これらは、未だアイデアの段階であり、思いつくものを網羅的に示している。

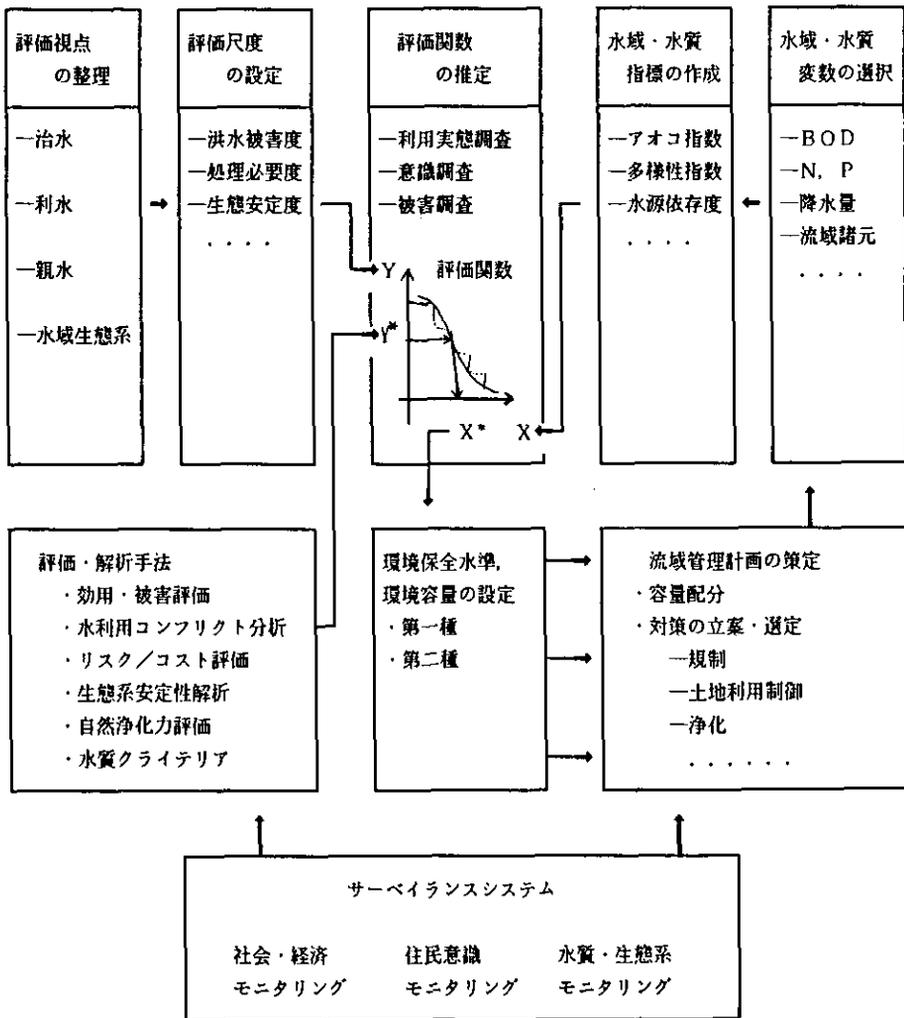


図 4 水域の機能評価とフレームワーク

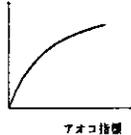
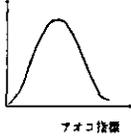
評価視点の整理	評価尺度の設定	評価関数の設定	水域・水質指標の作成	水域・水質変数の選択	
1. 治水	人間・財被害		(例) 処理必要度 	(水質) アオコ指標 (TSI, 臭い水指標, TOXポテンシャル, ...)	(水質) COD, DO, pH, SS, 透明度, T-N, T-P 微量成分
2. 利水	生活, 生産, 経済活動 への寄与	生活用水 充足度 処理必要度 危険度 (飲用による健康被害) 工業用水 充足度 処理必要度 農業用水 充足度 作物被害度 水産用水 生産度, 魚価 舟運・観光 用水	載水満足度 	(生態系) 多様性指数	細菌, ウイルス 富栄養・量, 魚獲・量
3. 親水	感覚影響	親水 数値 運動 自然観察 } 満足度 } 近接度 } 危険度	生態安定度 	(水質) 利用可能水量 循環利用率 水懸法存度 (場) 流域・離盆形状 (流域) 社会・経済指標	(水質) 降水量・河川流入量 地下水流入量 (場) 離盆形状 流域諸元 (流域) 人口, 工業, 農業
4. 水域生態	自然 生態系	自然度 多様度, (安定度)		(人間意識) 水辺意識	

図 5 水域の機能評価と指標

水域評価の視点として、①治水、②利水、③親水、④水域生態系に分類した。それぞれに対応して、評価尺度たりえるであろう既存の指標や新たに導入した指標を含めて示している。評価尺度は、水域及び流域の物的要因とリンクする必要がある。ここでは、水域、水質環境と表している。『指標』としては、BOD、CODがまず思い浮かぶが、これらの単に測定した水質項目を、ここでは水質変数（或いは一次指標）と呼び、これらを何らかの価値基準で合成したものを指標（または二次指標）と呼ぶことにする。例えば、水質指標としてアオコ指標は、BOD、N、P等の富栄養化状態を個々に示すのではなく、アオコの発生量を指標化したもので、未だ具体化した指標ではないが、湖の富栄養化を総括的に表現する指標になりえるであろうし、また、湖の環境状態を地域住民に広報する上でも有効なものとなると考えられる。アオコ指標は、これまでの環境容量の議論の中で取り上げられた指標の一つである。

評価尺度と、水域・水質指標をリンクするものが、評価関数である。図に例を示したように、横軸に水域・水質指標を、縦軸に評価尺度をとり、両者の関係を関数として明示的に示したものである。評価関数は、自然現象に関しては、調査や研究など既存の知見を集約したり、水質専門家へのデルファイアンケートなどにより¹⁰⁾、また親水性や水利用に係わるものについては、利用実態、意識調査や被害調査などを通じて、関数形を推定する必要がある。

一方、図3下段のサーベイランスシステムは、湖沼の水質や生態系などのモニタリングにとどまらず、水域・流域内の人間活動や意識（例えば、水辺の快適性）も含めてモニタリングすることを示している。こうしたモニタリングから得られた情報は、評価関数、環境保全水準やその設定根拠となる水質クライテリアの設定の基礎的な情報として用いる。

ここに示したフレームワークは、アイデアの段階に止まっており、今後具体化すべく作業を進める予定である。こうして求められた環境容量による水質管理が、従来の環境基準を基とした総量規制とどこが異なるかについて触れておく。理念的に優れた環境容量の定義が出来ても、定量化しえなければ、水域管理に役立てることはできないことは明らかである。評価に際しては、現行の環境基準の簡便性や操作性の良さは若干犠牲になるかも知れないが、先ず第一に、水利用のみの評価から、親水性や生態系への影響をも積極的に評価する方法であることが挙げられる。

第二に、現在の基準の評価は、適否判定の評価にとどまっており、基準に適合した上でさらに、良い環境を目指すといった次段階への方針をたてることができない。評価関数による方法では、そうしたより良い環境の創造まで含めた形で評価できる可能性がある。また、種々対策を実施した後、その対策効果の評価も環境基準中心ではなかなかできず、対策の効果評価、換言すれば、対策の事後アセスメント的な評価も可能になろう。

5. おわりに

環境容量特研がスタートして一年が経過した。この間、従来の環境容量に関する文献調査や定義等についての議論を行ってきた。はじめにも記したように、現在環境容量について明確な定義が議論の中から、出てきてはいない。中公審の報告にもあるように、大変難しい研究テーマに取り組んだというのが、正直な感想である。しかし、現行の環境基準をベースとした総量規制などの水質管理体系は、水質汚濁が進んだ水域を管理する手法として適したものであり、それなりに機能してきたわけだが、水質を回復させた上で、さらにより良い水質を目指したり、汚染の軽微な水域を保全していくといった考え方は、明示的に盛り込まれていないこと、さらに環境基準の見直しの気運があることを考えると、これまでの研究の蓄積及び水質・流域関連情報を再検討し、新たな環境管理のための方法論を構築していく必要性を切に感じている。環境基準に代わりうる、環境容量を用いた水質管理手法を目指しているが、フレームワークは出来たものの、最終のアウトプットのイメージさえも各人各様である。

以上、相当発散した話題提供であり、気付いた点を羅列したに過ぎないが、研究の方向性を含め、いろいろご意見頂ければ幸いである。

参考文献

- 1) 環境文化研究所(1972)環境容量計量化調査研究報告書—水系を中心とした環境容量の研究—.
- 2) 内藤正明(1975)環境容量と総量規制に関するシステムの考察, 公害と対策, 11(6), 41- 49.
- 3) 内藤正明(1977)環境容量に関するシステムの分析, 環境情報科学, 6(4), 48-50.
- 4) 内藤正明(1987)環境容量論, 環境情報科学, 16(3) 49-54.
- 5) 庄司光(1974)総量規制の検討- 大阪府環境管理計画・BIG PLANについて—, 公害研究, 3(3), 45-55.
- 6) 兵庫県生活部環境局(1977)地域環境計画.
- 7) 宮城県(1981)宮城県環境管理計画 -ABC 計画-.
- 8) 二階健・中村雅胤(1987)紀の川における水質環境容量解析調査, 用水と廃水, 29(6), 15-2.
- 9) Bishop, A. B., et.al(1974)Carrying capacity in regional environmental management, EPA report PB-238080.
- 10) 原沢英夫・石橋良信・内藤正明(1988)河川水質の総合指標化に関する一考察, 第23回土木学会衛生工学研究論文集, .

4. 湖沼沿岸帯における自然環境容量と景観

桜井善雄（信州大学繊維学部）

1. はじめに

私の講演には「自然容量・景観」というキーワードが与えられた。このシンポジウムのテーマから考えて、これを「自然環境容量と景観」とし、さらに対象とする水域を湖沼の沿岸帯に限定することにする。もっとも湖沼では、沖帯だけの景観といっても、水の透明度の良し悪しやアオコのフロックのあるなしくらいで、景観の構成要素も極めて単純であり、問題にならないだろうから、水域の景観という場合には、必ず湖岸のそれが含まれると考えるのが妥当であろう。

2. 自然環境容量とは

かつて筆者は、自然環境容量について次のように書いた（桜井，1977）。この定義は、主として山地の森林地域の保全を念頭においたものであるが、ここでもその主旨を踏襲する。

『自然度の高い植生をもつ地域や、またかなり人為の影響を受けているとはいえ、これに準ずる条件をそなえている地域は、その土地の所有のいかんにかかわらず、社会一般に対して計り知れない恩恵をもたらしている。すなわち、水資源の涵養、土地の崩壊による災害の防止、木材・薪炭その他さまざまな資源の生産、多様な野生生物社会の存続、すぐれた景観の成立、大気の浄化や気候の緩和などによる人間の快適な生活環境の醸成、等をもたらす、いわゆる公益的機能がそれである。』

このような自然地域のもつ公益的機能は、この地域に直接関係ある人々のためばかりでなく、国民共有の財産として、長期的かつ広域的な観点に立って、保護・保全をはかっていかねばならない性質のものである。

ここで扱う自然地域の環境容量（以下、自然環境容量と呼ぶ）というのは、このような自然度の高い地域がもつ公益的機能を、上記のような観点から保持していくために定める、人為の介入の限界をいうものである。』

3. いくつかの前提あるいは問題点

① きめ細かく多様であり、かつ四季の変化と深く結びついているわが国の風景・景観は、民族のものの考え方や芸術の基調をなしており、またその特性については古くから数多く論じられてきた。しかし、環境保全の中の一つの分野として景観の保全が問題にされるようになったのは、わが国では最近のことであり、手法や技術ばかりでなく、理念や基礎理論についても未成熟の部分が多く、特に湖沼や河川の水辺の景観については、保全・修復をうたいながら新たな損傷をもたらしているような例も少なくない。

② ここで扱う“景観”は、全く人為の影響のない“自然景観”でもないし、また主として人

工構造物からなるいわゆる“文明景観”でもない。それは、「単なる地表面に現れた地物の形態を意味するものではなく、自然と人間の作用機構がつくり出す地域の総体としてとらえる総合的なもの」〔井手（1971）、亀山（1985）より引用〕である。

③ このような“景観”を自然環境容量にかかわる問題として扱う場合には、それを“量”としてとらえる手法が必要になる。これは本質的にむづかしい問題であり、現状では基礎的な検討も十分ではないが、全く不可能なことではない。後でその可能性や試みについても論じることにする。

④ しかし、すべての景観を量に還元・置換することは不可能であるし、またそう考えてはならない。それは景観のあるカテゴリーについて不可能というのではなく、全ての景観が、その景観に結びついている人々との関係において、本質的にそのような側面をもっているということである。

例えば、水辺の景観（すなわち、それを構成する地形、植生、人工物、等の総合）が、そこを生息場所とする生物群集に対してもっているような働きは、努力次第である程度は普遍的な量としてとらえることができる。しかし、ある個人あるいはある地域の人々にとって、ある特定の水域の自然景観は、全く私的、主観的、個別的な、かけがえのない価値をもつ場合がある（松下、1981）。“自然環境容量”という概念ないし手法も、景観のもつこのような側面までは律しえないことを、銘記しておかねばならない。

⑤ さらに、自然環境容量には、それがあつた技術的な手続きによって認められる場合にも、それによって示された限度までは、何の配慮もなく、自然環境の改変が許容されるという、いわば“免罪符”的な機能が与えられてはならない。それはその改変について地域社会のコンセンサスが存在することを前提としての、自然環境への人為的介入のやむをえざる限界と考えるべきである。

⑥ 水辺の問題に限らず、景観保全の理論は、常に具体的な技術・手法によって裏付けられていることが大切である。

具体的な技術・手法とは、理想的には、その水域に望まれる在り方をふまえて、現状の自然状態の全き保存から、必要な自然状態の人為的な造成・修復までの要求を満たすものでなければならない。これは容易なことではないが、わが国における沿岸帯の自然景観の保全のためには、早急に検討を進めなければならない重要な課題である。そのためには、生態学と土木工学両分野の提携・協力が必要である。

4. 沿岸帯の景観構成要素とその生態的機能

湖沼沿岸帯の景観を構成する要素は、表1のように分類することができる。

表1の自然の景観構成要素のうち、地形要素の緩斜面、地質要素の砂、泥土、および水は、沿岸帯における植生成立の最も重要な基盤であるばかりでなく、それ自身が湖水の浄化や動物の生

表 1 湖岸景観の構成要素

湖岸景観の構成要素	地形要素	急斜面 緩斜面 (不連続な地形)	
	地質要素	岩・石礫 砂 土・泥	
	植生要素	樹林…上部沿岸帯より陸側 湿地-抽水植物群落 浮葉-(沈水)植物群落	
	水要素	色、濁り、ごみ、など 水位変動	
人工の要素		棧橋、船舶、ボート、など パラペット、石垣、堤防、など 水門、取水施設、など 湖岸の建築物、広告、など 漁業施設…養殖筏、えり、など	

() は景観として見えない要素

表 2 湖沼沿岸帯の植物群落をもつ生態学的機能

生態学的機能		樹林	湿地植物群落	抽水植物群落	浮葉植物群落	沈水植物群落
植物の生産と分解	有機物の生産	●●	●●	●●	●●	●●
	湖水との酸素のやりとり			●	●●	●●
	湖水とのN, Pのやりとり			●	●●	●●
	底泥からのN, P吸収			●●	●●	●
	舟航・漁撈への障害			●	●●	●●
生物群集の維持	水鳥類と魚類への食物供給	●	●	●	●●	●●
	底生生物への食物供給	●	●	●●	●●	●●
	着生生物の着生基体			●●	●●	●●
	魚類・エビ類の産卵と幼生の発育場所			●●	●●	●●
	昆虫類・両生類などの生息場所			●●	●●	●●
	水鳥類の営巣・育雛の場所	●	●●	●●	●	
湖水浄化	有害物質の吸収			●●		
	着生生物による有機物の分解			●●	●●	●●
	遮光による植物プランクトン抑制			●●	●●	●
	N, P吸収による植物プランクトン抑制			●	●●	●●
	浮遊物の沈殿促進			●●	●●	●●
	底泥への酸素供給			●●	●	
侵食防止	波浪の抑制			●●	●	●
	緊縛作用による湖岸の侵食防止		●●	●●		
資源供給	家畜の飼料と肥料の供給		●●	●●	●●	●
	生活用品の材料の供給		●●	●●		
景観形成	水辺景観の形成	●●	●●	●●	●	

●●はその機能が存在することを、●はそれより劣るが存在することを示す。

息環境としての機能をそなえている。

沿岸帯の自然景観の構成要素の中で最も多面的かつ重要な生態的機能をになっているのは、植生群落である。表2にそれらをまとめて示した。

表1および表2からわかるように、わが国の多くの湖沼、特に平地の湖沼において、湖岸の自然景観を考える場合、その主な対象となるのは、沿岸帯およびその背後の陸地の植生と、それらの成立を支えている汀線付近の地形、ならびに著しく変動しない水位である。

5. 湖岸景観の類型化

湖岸の景観は上記のような諸要素の組合せによって形成されるが、その自然環境容量を検討するには、現実に存在する湖岸の景観を類型区分し、その各々の存在量を知らなければならない。このような目的のための類型化の方式としては、

- i. 現実の表型による類型化
- ii. 前述のように最も重要な景観構成要素である植生の立地条件の存否、すなわち植生成立の潜在的可能性にもとづく類型化

の2つの方式が考えられる。

表3と表4に、2つの方式による類型区分の一例をあげた。前者には、人工の要素が優占する景観も含めてある。

表 3 表型により分類した湖岸景観の主な類型

自然要素 が優位	急斜面	岩	.....	1
		森林	.....	2
	緩斜面	岩盤・石礫	(樹林+/-)	3/4
		砂浜	(樹林+/-)	5/6
		湿原と抽水・浮葉植物群落	(樹林+/-)	7/8
		抽水・浮葉植物群落	(樹林+/-)	9/10
人工要素 が優位	棧橋など	(樹林+/-)	.....	11/12
		緩傾斜の親水工	(樹林+/-)	13/14
	パラペット、堤防など	湖内植生あり(樹林+/-)	...	15/16	
		湖内植生なし(樹林+/-)	...	17/18	
	建築物、広告など	湖内植生あり(樹林+/-)	...	19/20	
		湖内植生なし(樹林+/-)	...	21/22	

表 4 植生の立地条件の存否により分類した湖岸景観の主な類型

著しい水位 変動なし	緩斜面、または補償深度 より浅い浸水帯あり	岩盤・石礫	.....	1
		砂利	.....	2
		砂・泥土	.....	3
	浸水帯なし	.....	4	
著しい水位 変動あり	緩斜面あり	岩盤・石礫	.....	5
		砂利	.....	6
		砂・泥土	.....	7
	緩斜面なし	.....	8	

6. 湖岸の自然環境容量の検討

ある湖の湖岸全体における上記のような景観類型の各々の存在割合が把握されたとして、次にその湖の利用または保全目的にとってそれらが必要量を満たしているかどうかを検討しなければならない。しかし、この分野には、これから研究・解明されねばならない多くの課題がある。ここでは、次のような3つの関係について考えてみよう。

1) 動物の生息場所の維持を目的とする自然環境容量

湖沼の沿岸帯は典型的なecotoneであり、一生あるいは生活史の特定の時期に、ここの環境に依存する多様な動物群集の生活を支えている。このような沿岸帯の働きは、前述のように、主として沿岸の草本植物群集に負うものである。

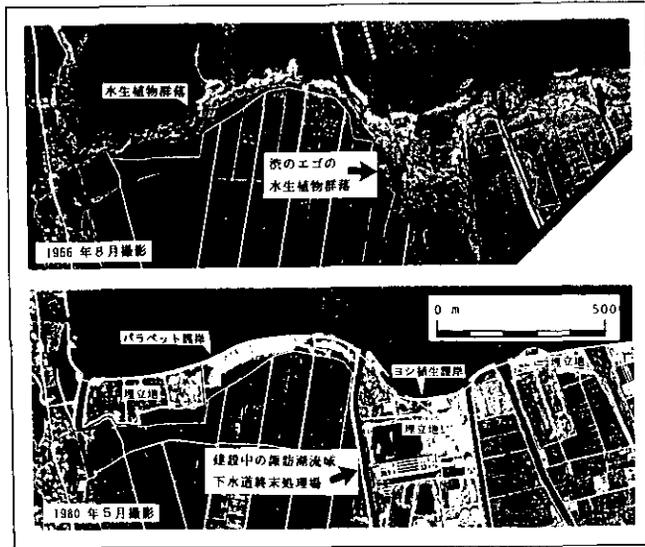


図 1 しゅんせつと埋め立てによる諏訪湖南西岸の水生植物群落の消失

表 5 諏訪湖の湖岸改修前後における鳥類相の変化

	改 修 前	改 修 後
	1972年3月~10月 狭のエゴ	1983年4月~1984年3月 諏訪湖全域
ガンカモ科	20	12
サギ科	8	5
シギ科	22	4
チドリ科	8	3
カイツブリ科	1	2
カモメ科	—	2
クイナ科	2	2
カワセミ科	—	1
カワガラス科	—	1
ウグイス科	2	2
その他	9	—
合 計	72	34

諏訪教育会(1978)および日本野鳥の会諏訪支部(1985)からまとめた。

例えば、諏訪湖では図1のような湖岸のしゅんせつと埋め立てによって水生植物群落が消滅する前後における水鳥の生息状態についての調査結果があり、表5のように年間この水域にみられる水鳥の種数は半減している(桜井, 1987より)。

沿海岸域の“藻場”と同様に、湖沼沿岸帯の水生植物群落も、魚類、甲殻類、昆虫類、軟体動物等の産卵や幼体、成体の生育の場所として重要な役割をはたしており、植物群落が失われると、漁業生物その他の野生生物の生息状態に異常が現われ、時にはその数が著しく減少する(春日, 1981, 1986, 茨城県内水面誌, 1972, 桜井, 1985, 他)。

このような野生生物の生息場所としての湖岸景観を考える場合、単に横から見た景観だけでは不十分で、植物群落等の一定の広がり(面積)が重要な問題になる。

しかし、その意味で、沿岸帯に生息の場をもつ昆虫類、甲殻類、魚類、あるいは鳥類にとって、それら各々の個体群、あるいはそれらの群集の恒常的な維持のために必要とする生息場所の質と大きさについて、現在のところ十分な情報がえられているとはいえない。

多様な水鳥の生息地として、Hudec et al. (1978)は、幅10m以上で十分な長さがあり、その中に小さな開水域や水路、小島、有機物の堆積のある深み、などをもつヨシ群落が適していると述べている。水鳥のような、大型で寿命が長く、広い食性と行動範囲をもつ野生動物の生息環境を保証することは、それより小さく行動範囲の狭い動物の生息環境をも保証する点で、特に重要である。

湖沼動物群集の生息環境の保護・保全を目的とする沿岸帯の自然環境容量を検討するためには、上記のような量的関係の解明が、今後の重要な課題である。

2) 湖水の浄化力維持のための自然環境容量

湖沼の沿岸帯に生育する水生植物それ自身による栄養塩の吸収、水中に没している植物体表の“Aufwuchによる栄養塩の吸収や有機物の分解、さらにAufwuch や沿岸帯のdetritusに依存する軟体動物による浄化作用への寄与、等の諸問題については、近年急速に研究成果が蓄積されつつある(例えば、Toth, L. 1972, Seidel, K. 1976, 沖・青山, 1982, Kurata, A. 1983, 渡辺・桜井, 1984, 岩熊・土谷, 1986, 鈴木, 1987, 細見, 1987, その他多数)。したがって、それぞれの湖の大きさ、特性に応じて、湖水の水質保全のためにどれだけの湖岸植生を保存あるいは造成すべきかというような問題については、近い将来にかなり明確な解答が得られるようになると思われる。

3) 好ましい湖岸景観維持のための自然環境容量

すでに述べたような湖岸景観構成要素のどのような組合せと存在様式が、人々の眼に好ましく、あるいは好ましくなく映るかということは、全く見る人の主観によるものであり、その程度を定量的に把握し表現することは、ほとんど不可能に近い。しかし、市街地、農村集落、沿道、等の景観についてすでに各地で試みられているように、その質的な把握は可能であり、その成果は実地に十分利用できるものである。

筆者が、表3の3以下の類型に属する30の湖岸景観を、国内およびヨーロッパのいくつかの湖

沼で撮影したカラースライドのなかからえらび、全国の2551人の人々にそれぞれの景観を“好ましい”とみるか“好ましくない”とみるか（5段階評価法による）アンケート調査によって評価してもらったところ、それら各々の景観にそなわる構成要素（表6）と評価結果（表7）の関係は図2のようになった（桜井，1987）。

表 6 評価の対象とした30の湖岸景観にみられる景観構成要素の分類

〔Ⅰ〕自然の要素

1. 汀線を含む緩傾斜の地形
2. 湿生および抽水植物の群落
3. 浮葉および抽水植物の群落
4. 表沿岸帯とその内部陸域の樹叢
5. 砂浜

〔Ⅱ〕人工の要素

- (A) 6. 汀線をはさんで段差のある地形
7. コンクリート壁，石垣，等の護岸
 8. 建築物，栈橋，等
 9. 広告等，彩色された構造物
- (B) 10. 自然景観に似せた配石
11. 緩傾斜の石張り護岸
-

この結果を要約すると、わが国の多くの人々が好むのは、汀線付近の緩傾斜の地形の上に水生植物群落が生育しているか、砂浜があり、その背後には樹木の茂みが見えるような、湖の生物群集や漁業資源、水質等の保護・保全上望ましい条件をそなえた湖岸の景観か、また人工湖岸では、汀線への接近を可能にする護岸工や自然らしい景観を創出する配慮がなされている湖岸の景観であり、これらの要素の一部または全部が欠如しているコンクリートや石垣等による護岸や、水際まで接近する建築物その他の人工施設がある湖岸の景観は忌避されることがわかった。

アンケート調査に用いた湖岸景観のうち、最も高い評価をえた群（A群）と低い評価をえた群（E，F群）の数列を図3に示した。

表 7 アンケート調査の結果による湖岸景観の類型区分

類 型	特 徴
A	評点5（好ましい）に選択数の最大があり50%をこえる。
B	評点5（好ましい）に選択数の最大があるが50%以下。
C	評点4（どちらかといえば好ましい）に選択数の最大がある。
D	評点3（どちらともいえない）に選択数の最大がある。
E	評点2（どちらかといえば好ましくない）に選択数の最大がある。
F	評点1（好ましくない）に選択数の最大がある。

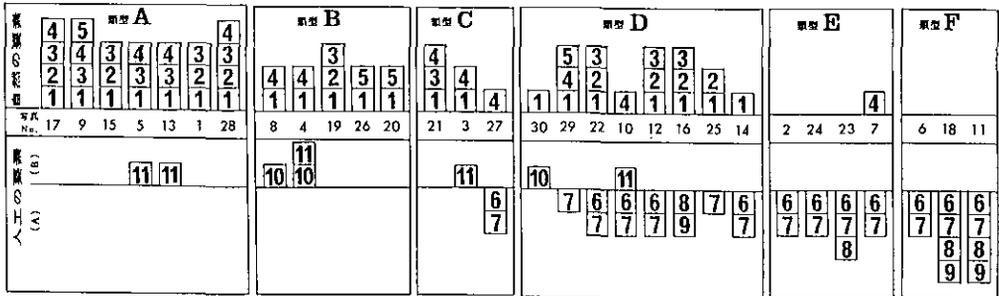


図 2 アンケート調査による湖岸景観の類型区分と景観構成要素との関係

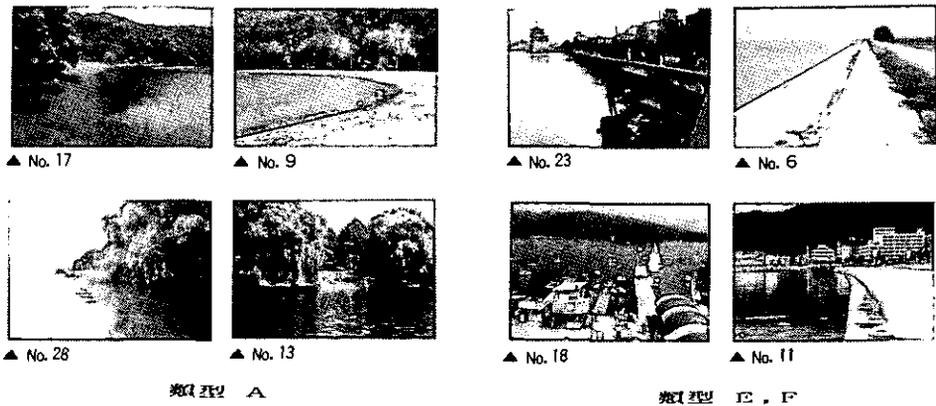


図 3 アンケート調査により高い評価をえた湖岸景観（A）と低い評価をえた湖岸景観（E, F）図中のNo.は図2の写真No.に対応する

アンケート調査ではまた、「水辺」という言葉からの連想について、13の選択肢を設け任意複数選択してもらったが、その結果は図4のようになった。

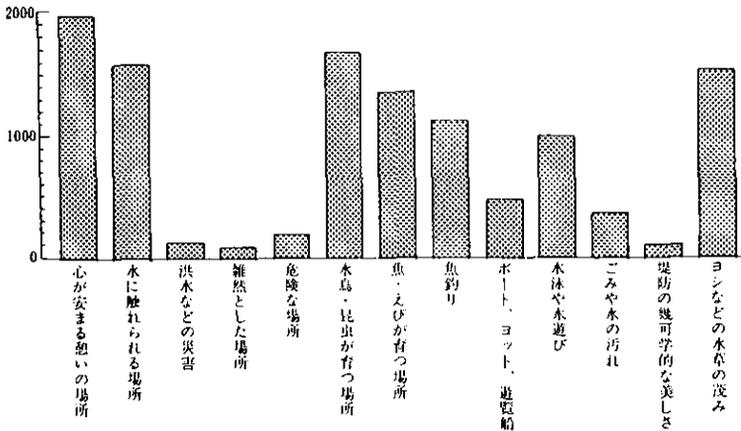


図 4 「水辺」という言葉からの連想、2551人による任意複数選択の結果

図4からわかるように、水辺を心が安まる憩いの場所と考える人々が最も多く、77%に達している。これに関連して、水に手を触れたり、魚釣りや水泳・水遊びをする場所という連想をもつ人々も多い。このように水辺を人間の休息・レクリエーションの場所と考える一方で、水草が茂り、水鳥や昆虫、魚、えびなどが生息する場所とする連想にも、高い数の解答が集中しているのが注目される。以上のような高率の回答をえた連想に対して、堤防がつくる幾何学的な美しさ、危険あるいは雑然とした場所、洪水、などを連想する回答は少なく、3～5%であった。このような回答の結果は、前期の湖岸景観に対する選択の傾向からえられた結論と、当然とはいえ、よく一致していた。

以上のようなアンケート調査の結果から、わが国の多くの人々は、湖岸の景観はより自然で豊かな生物群集が生息する状態に在ることを良しとし、それに心の安らぎを求めていることがわかる。このように、人間による景観の選り好みと、その場所の生態学的な充実度、いいかえれば生態系としてみた場合の完全さの程度とがよく対応していることは、興味深いことである。

このような調査結果は、湖岸景観の量的把握については直接に役立たないけれども、好ましい湖岸景観の保全と創造については、明確な方向を示しているものと考えられる。

7. 自然景観への人工物介入の限度を評価する一つの試み

前項で、景観の良し悪しを量的に評価することは不可能に近いと書いたが、かつて筆者が試みた次のような事例は、場合によってはそれが可能なことを示唆している。ただし、これは湖岸の景観を対象にしたものではなく、山地や高原の観光地の景観保全について提案したものである(桜井, 1976)。

図5は、一定の範囲を限った自然景観のなかに人工物が介入した場合のさまざまなパターンを

示した模式図である。ある空間の中に、その空間の基調をつくっている“生地”と色彩・形状を著しく異にする異物が介入する場合、それが一定の濃度以下で、かつ適度に分散していれば、それが混入することによってまた多少別の味をもった“生地”が出来上がり、新しい調和を生み出す傾向がある。このような異物の混入の限度を、空間の一定範囲を縦横に切ったグリッドの各列に対して20%以下とすれば、図5では〔f〕以外はすべて好ましくないことになる。

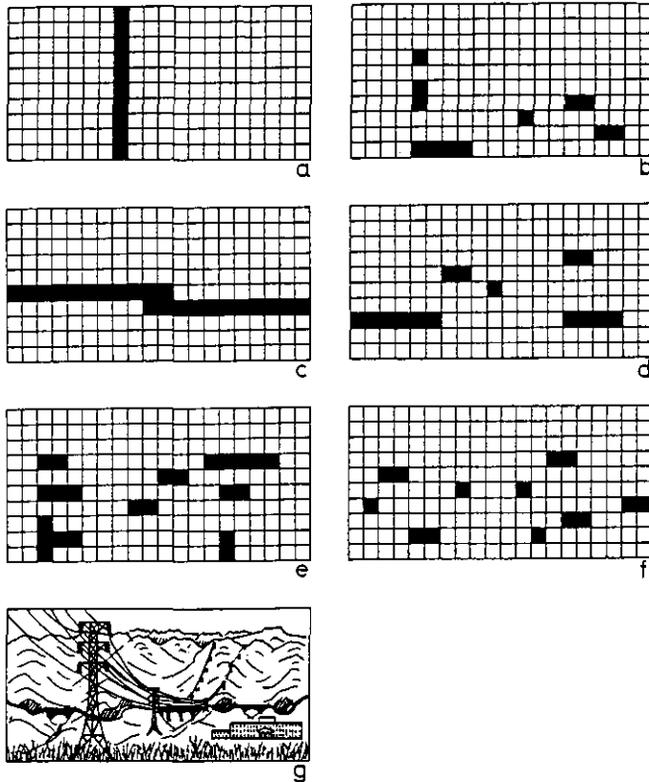


図 5 一定範囲のすぐれた自然景観に対する人工物介入の程度を示す模式図
許容量を20%とすれば、f 以外はすべて好ましくない

上記の考え方によって、長野県の白樺湖南岸に接する八子ヶ峰北西地区斜面の別荘地区の景観評価を試みた(桜井, 1983)。この地区では、約 400棟の別荘が斜面の雑木の二次林のなかに散在しており、その下の白樺湖畔に見られるけばけばしい色彩のホテル群がつくりだす景観に比べれば、周囲の“生地”を損なうことなく、かなりリゾートらしい落ち着きをみせている。

この別荘群の分布状態を、1975年撮影の空中写真にもとづく1/2500地形図を用いて測定した結果が図6である。この図をみると、別荘の隣接する2棟間の距離は、全体で平均 49.9 ± 23.9 mである。1棟の1辺の平均は約10mであるから、この地区における別荘の分布状態は、平均値として図5の許容範囲に収まっている。

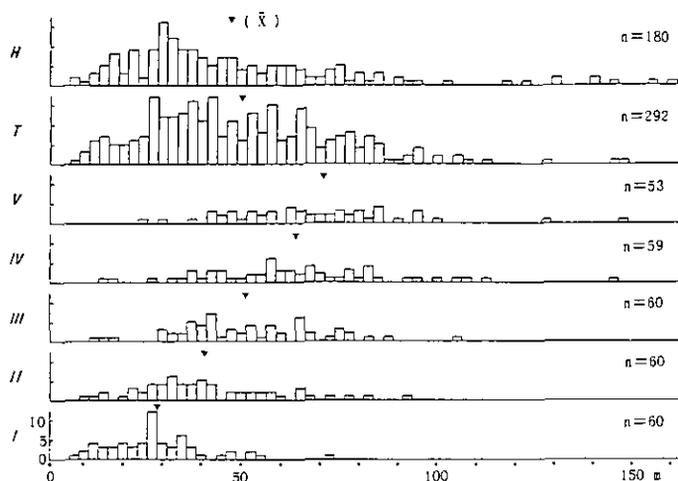


図 6 白樺湖地区八子ヶ峰北西斜面における別荘の棟間距離

注：I～Vはそれぞれ1番近い棟から5番目に近い棟までの距離

TはI～V全体，Hは高低差4m以内にある隣接2棟間の距離，

▼は平均値

この結果は、筆者の仕事とは全く独立に、この地区を訪れた観光客を対象に行われた景観に関するアンケート調査において、125mメッシュ当りの建物の数が2から3になるところを境にして、良好な景観のイメージが〔+〕から〔-〕に転じるという報告（松本，1983）とよく符号している。

以上のような手法は、そのまま湖岸景観の保全に適用することはできないが、示唆を与えるものではある。

8. 湖岸自然景観の保全・修復技術

湖岸に必要とする自然景観の構成要素が不足している場合は、これを修復あるいは造成しなければならない。そこで特に問題になるのは、沿岸帯の植生の立地基盤と植生そのものの造成、いかにすれば湖沼沿岸帯を対象とした“緑化技術”である。

近年、わが国においても、このような問題に関心がむけられ、二三の実施例もあるが、その技法が土木工学的連想にもとづいており、生態学的な観点からみると不十分なものが多い。この点は河岸の整備についてもいえることで、すでに述べたように、生態学と土木工学の提携による、わが国の風土に適した水辺環境の保全・修復技術の早急な整備が望まれる。

いうまでもないことであるが、この場合まず大切なことは、現存する自然植生をまずできる限り保存することである（図7）。

湖岸の自然景観や自然植生の保護・修復については、西ドイツでおこなわれている制度や技術

(たとえばBundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, 1965. ほか)が大変参考になる。これらの紹介は紙面の都合で省略する。

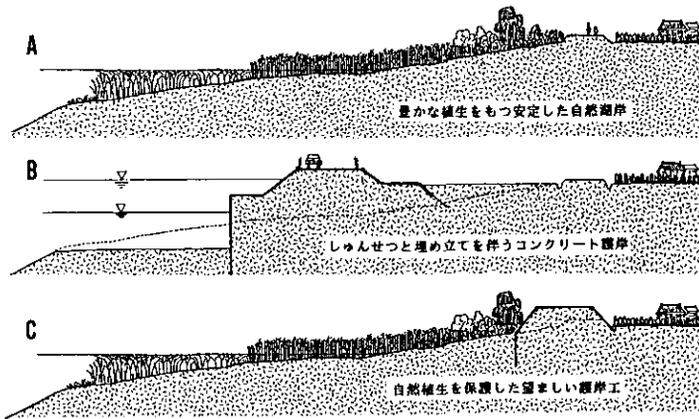


図 7 湖岸の自然景観と自然環境を保全するための望ましい護岸 (C)

引用文献

- 1) 桜井善雄 (1977) ; 環境情報科学, 6(4), 58-63.
- 2) 亀山 章 (1985) ; 信大環境科学論集, No.7, 1-4.
- 3) 松山竜一 (1981) ; 環境情報科学, 10(4), 45-50.
- 4) 桜井善雄 (1987) ; 琵琶湖研景観生態記録集, 9-24.
- 5) 春日清一 (1981) ; 環境情報科学, 10(4), 69-75.
- 6) 春日清一 (1986) ; 国立公害研報, No.96, 127-139.
- 7) 茨城県内水面水試 (1972) ; 藻場造成の基礎調査 (仮報告書), pp. 81.
- 8) 桜井善雄 (1985) ; 水草研会報, No.20, 2-7.
- 9) Hudec, K. and K. Stasiný (1978) ; Dykyjová, D. et al. ed. "Pond littoral ecosystems-Structure and functioning", Springer-Verlag, 434-438.
- 10) Tóth, L. (1972) ; Wat. Res. 6, 1533-1539.
- 11) Seidel, K. (1976) ; Tourbier, J. et al. ed. "Biological Control of Water Pollution", Univ. Penn. Pr., 109-121.
- 12) 沖 陽子・青山 勲 (1982) ; 国立公害研報, No.21, 44-54.
- 13) 渡辺義人・桜井善雄 (1984) ; 水草研会報, No.17, 13-20.
- 14) 岩熊敏夫・土谷岳令 (1986) ; 国立公害研報, No.96, 101-125.
- 15) 鈴木紀雄, ほか (1987) ; 第52回日陸水大会講演要旨, 127.
- 16) 細見正明, ほか (1987) ; 第4回自然浄化シンポジウム (国立公害研).
- 17) 桜井善雄 (1987) ; 水草研会報, No.29, 12-18. および自然保護-信州, No.3, 4-9.

- 18) 桜井善雄 (1976) ; 昭和51年度自然環境容量手法調査検討結果報告書, 長野県. pp. 49.
- 19) 桜井善雄 (1976) ; 信大自然環境容量研究会 (代表: 川上浩) 編, “自然環境容量の数量的評価方法に関する研究”. pp. 87.
- 20) 松本直司 (1983) ; 同上.
- 21) Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz (1965) ; Der biologische Wasserbau an den Bundeswasserstraßen. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart. pp. 319.

5. 環境容量と生態学

川那部浩哉 (京都大学理学部)

1. はじめに

発案者の海老瀬さんから頂いた題は、実は「環境容量と生態系」であった。「仮題であるのでつけ直しても良い」という御連絡に甘えて1字だけ変えたのには、いくつかの思惑がないでもない。

特別研究の課題が「環境容量から見た水域の機能評価と新管理手法に関する研究」というものであり、会の名が「環境容量シンポジウム」だから、環境容量と言う言葉は少なくとも国立公害研究所では確立し、定義も判然としているようにも思える。だが実質上の第一発言者たる福島さんの仮題は「環境容量の概念・考え方」とある。誰にも異存のないことなら、こういう話題が出ることもなかろう。環境容量とは本当に何なのか。

実は事前にTさんから連絡のあったとき、「生粋の生態学者として現在環境容量というものをどう考えているのか、それを話せ」というような電話だったように思う。ただし、聞き方にさして自信のあるわけでもない。数日の猶予を願って、数種類の本をひっくりかえしてみた。研究室の昼休みの話題にも出した。もっともツー・テン・ジャックをやりながらである。その結果、生態学者には統一見解はなさそうだということが判った。そうすると少し勉強してみる価値がある。考えてみる価値がある。「まとまるとは思えないが考えの過程をお話しする程度で良ければ」という返事をしたのは、そのとき私にはこの件について頭の中がまったくからっぽだったからだ。

それから3ヵ月あまり。時には議論し、時にものを読み、時に黙考……いやこの最後のことはあまりやらなかったが、メモはかなりの量になっている。しかし今もなお私には筋書は見えて来ない。思い起こせば私は、そもそも書きながら考える以外に話を進めるすべを知らぬ人間であった。「生態系」となると考える範囲が限られる。「生態学」なら、私にはとうていそれを脱出できるはずがない。1字を変更させてもらった理由のうち、いちばん単純で、しかも今のところはっきりしているのはこれである。「生態系」とは言いたくないその他のもやもやした内容は、書きながら少しずつ明らかになるかもしれない。

2. いくつかの辞典から

沼田真さんの編集した「生態の事典」(1975)には、「環境容量」なる項目がある。すなわち、「この用語は、主として行政面で問題とした用語である。したがって、この用語の意味も立場によって異なり、<自然の収容力>、<汚染質の限界容量>などを内容とすることもある。環境汚染を規制しようとする立場から環境容量をいう場合、環境容量は自然の浄化作用の限界量を示す。従来、汚染質の規制は濃度面からのみであったが、汚染の人間に対する影響がないと考えられる状態を維持するためには、単に濃度規制だけでなく、排出総量面からも規制する必要がある。そ

の場合、自然の浄化作用の限度内に汚染量を封じ込めようとする。そうした場合の限界汚染量が環境容量だという。応用生態学の分野で、環境容量 (carrying capacity) というときは、生態系を破壊することなく、保持できる最大の収量、最大の個体数、最大の種類数などを示すものとして使われる。たとえば、草地に家畜を放牧する場合、草地を破壊することなく維持しうる最大家畜数が、また公園の芝生を荒廃させることなく利用するにはどのくらいの入園規制が必要か、そうした場合の入園者の最大人数を示す場合などにも使われる。」なおこの項目の執筆者は、今は亡き三寺光雄さんであった。

山田常雄さん他編の「岩波生物学辞典」(1977)や沼田真さん編の「生態学辞典」(1974)には「環境容量」なる項目はない。あるのは「環境収容力 (carrying capacity, environmental capacity)」で、それは次のようである。「ある地域(空間)で、特定の種が維持しうる最高の個体群レベルをいう。個体群増殖のロジスティック理論では上限値Kを指すが、より一般的には平均的な気候条件・生息場所の構造・食物供給量などによって規定される維持可能な最大個体数を意味する。この後者の場合には、天敵や競争種などは環境収容力を規定するものとは見ず、むしろそれ以下に個体数を制限する要因と見るのが普通である。」(生物学辞典)なおこの項目の、原案作成者は原田英司さんで、私も中間編集に参画した。

ついでなので英語の辞典も見てみよう。オックスフォード英語辞典には補遺版(1972)にcarrying capacityが出ていて、「ある地域内にいて、その土地が維持しうる人間または動物(とくにヒツジやウシなど)の数」とあり、1883年のマーク・トウェインさんの用例がでている。もう少し新しいところでロングマンの英語辞典(1984)をひくと、「悪化させることなく維持できる面積あたりの個体数(シカなど)」となっている。そして、ともにenvironmental capacityなどの語はない。一昨日やっと来たランダムハウス大英語辞典第2版(1987)も、似たようなところである。

すなわち、「汚染質の限界容量」などというのはなかなか魅力のある内容だが、まだ一般的ではなさそうだ。いや、それこそ公害研その他の方々のほうが本職である。私としてはやはり生態学からに限って、問題を見てみることにする。

3. 単一個体群に関する収容力

個体数の成長曲線の最も簡単なものにロジスティック式 $dN/dt = rN(1 - N/K)$ のあるのは、周知の通りである。このKのことを、「その個体群に関するその環境の収容力」という。じつはこれが、生態学の教科書をひもといたときにまず出てくるcarrying capacityの定義である。いや、これしか出てこないもののほうが多い。最近のものとしては比較的評判の良い、ペゴン・ハーパー・タウンゼンドさんによる「生態学」(1986)もその例外ではなく、また「その環境の資源が、増やしたり減らしたりする傾向なしに、ちょうど保持(carry)できる個体群の大きさ」の意味だと、わざわざ述べてある。この本には、このすぐあとにもなかなか面白いことが書

いてあるのだが、それに触れるのは少し待つことにしよう。

さてここで環境収容力 K は勿論、 N もまた実は密度を表している。ところでこの密度という概念が既になかなかの難物である。むかし(1973)書いたものを少し引用しよう。「<日本の人口密度は>という問いに対する答えは、全人口を全面積で割ってやれば良い。これに対して<日本の農村の人口密度は>と尋ねられると、答えはさっきほど簡単には出ない。まず農村なるものを定義して、農村人口なるものを求める必要がある。次に農村の面積を求めねばならないが、これはたいへんである。農地や住宅地は良いとして、山林は面積に含めて良いのか、海岸の砂丘はどうか、などなど…。私はいまだに知らないのだが、滋賀県の人口密度を計算するとき、琵琶湖の面積は計算に入れるのだろうか外すのだろうか。どうも外しているような気がするのだが、もしそうなら、どこでも溜池は外しているのだろうか。川はどうなっているのだろうか。このように考えていくと、密度には少なくとも二つのもののあることがわかる。第一は、とにかくそこに住めようが住めまいが、全面積で割ってしまうもので、これは粗密度とよばれるものだ。これに対して人間なら人間の住める場所で割ってやろうとする考えもあって、これは経済密度とか生態密度とかいうことになっている。

「ところで私達が本当に知りたい密度は後者である。森林に住むアカネズミの密度を調べるのに、市街地を加えて割ったのでは、何を示しているのかわからない。それでは草地はどうなのか。この草地では一度もアカネズミがとれたことがないから、ここは住めない場所であると考え、今これは差し引くことにしよう。そうすると森林のなかでも、多く住んでいる場所と少ししか住んでいない場所とがあり、それを同一視することに疑問がでてくる。だがそもそも、その生物の存在非存在で密度の計算をするときの面積に含めるか含めないかを考えるのは、同義反復のいたちごっこではないのか。そこで<ええい、面倒くさい、粗密度にしまえ>となると、問題にしようとする重要な点は消失してしまう。つまり、生態密度を求めることは、目標なのである。私達はそれに向かって近づく努力を、一步一步つづけなければならない。」

なお、エルトンさん(1932)は密度にもう一つのものがあると述べていて、それは例えばサギ山におけるコロニー内の密度のような、言わば集まっている状況のときのその集まりの中での密度である。

ところで、密度効果の問題を徹底的に考えぬいた人に内田俊郎さんがある(1949, 72)。シャーレの中でアズキゾウムシを飼う場合を考えると、シャーレの大きさで当然生存率は変わるし、また餌となるアズキの量でも変わる。物理的空間あたり密度と餌あたり密度とは、すぐ判るようにそれぞれある程度独立しある程度関連がある。そのうえ、生活要求の似た他の種との間の行動干渉や相互刺激さらには排泄物などによる環境の条件づけ、また捕食者の存在なども効果を変更させてしまう。すなわち、密度というのは空間あたりの数には違いないのだが、この「空間」とは単なる物理的空間ではなく、対象とする種の生態特性に応じて異なる利用空間なのである。逆に言えば、同じ効果の生じる密度がすなわち利用空間あたりの等密度だということになる。

森下正明さんの環境密度理論も、ここで少々触れておくにはふさわしいだろう（1952）。ウスバカゲロウの幼虫（アリジゴク）を細砂と粗砂を半分づつ入れた容器に放すと、大きい確率で細砂の場所を選んですり鉢状の巣を掘る。次々と個体を増やして行くとそのうちに細砂と粗砂の場所を選ぶ確率が等しくなる。すなわち、アリジゴクにとって粗砂の場所の環境条件は細砂のそれに比べて、それまでに細砂側に入った先住のアリジゴクの密度分だけ悪かったことになる。つまり、環境の相対的評価を密度（正しくは密度効果としての場所選択の確率）によって一元的に扱うことになるわけで、これもまた先の内田さんの考えとよく似ている。

さてロジック式によれば、その個体群に関するその環境の収容力はその値 K である。リクレフスさん（1980）も指摘するように、「場所」のような新生不可能な資源の場合にはその全量が収容力になり、「餌」のように新生可能な資源の場合は完全に使われることはなく、その生産と消費のバランスによって定まる資源の平衡量が収容力になるが、この区別は周知のこととしよう。また、先にも述べたように、似た要求をもつ種間の競争、捕食・寄生・病気などの天敵の存在がこれに大きい影響を及ぼすし、さらになわばりや順位に典型的に見られる社会構造も問題になる。

しかし、ほぼ30年周期で繰り返し問題にされるのは、そもそも密度調節の機構が野外で本当に働くのかどうか、更に言えば、自然には収容力という決まったものがそもそもあるのかどうかという議論である。1940年代から50年代にかけての「生物学説」と「気候学説」の対立は有名であり、それをまとめようとして「総合学説」という、私に言わせれば「三方一両損」のようなものまで出現した。1970年—80年代にもこれは、後に述べたいと思うが、形をやや変えて繰り返されている。

だが、単一個体群については、ベゴンさんら（1986）が次のように書いているのが、とりあえずは現在の「穩健な」思想であろう。「理想個体群において示されるようなこの（資源量に基づく）単一の収容力は、そのままでは自然におけるどんな個体群にもあてはまらない。そこには環境の予想できない変動があり、種内競争以外にも多くの要因があって生物はそれに全体として対応しているわけだし、資源は密度に影響を与えるだけではなくその逆の過程もまた存在する。すなわち、予測可能で変化しない単一の収容力というようなものはない。しかし、最初の密度はかなりいろいろであっても、最後にはうんと狭い範囲に至ることは事実であり、言い換えればある範囲内に密度を保とうとする傾向のあることは確かである。…実際のところ、収容力を決める安定密度の概念は、密度依存性があまり強くないような条件の下で成立するものであって、密度依存性が強く働き過ぎると、個体群のサイズはむしろ周期的に変動したり、かえって混沌とした状態を作り出してしまうのだ。」

資源の分布様式に注目しながら独特の収容力概念を提出したのは、小哺乳類研究者のエリントンさん（1934, 46）である。彼は一方で行動圏の中には必須の資源の存在する場所がすべて含まれていなければならないというごくあたりまえの常識から出発して、一様な環境が続いていると

ころには行動圏は極めて少数しかとれず、環境のモザイク性が大きくなるほど一定程度まで行動圏の数が増加することを指摘した。そして他方では、個体の死亡要因を追求することは殆ど意味がなく、生存可能性を決める「覆い」こそが重要だとした。八甲田山雪の行軍ではないが、飢えで死ぬか、病気で死ぬか、はたまた寒さそのもので死ぬかは実はどうでも良いことであって、いずれ死ぬものはどれかでかならず死ぬのであり、問題はそれらから守るための小屋（覆い）の存在で、これこそが重要だというのである。エルトンさん（1949）はこれを拡張して、「作用中心」の考えを出し、その後もいろいろの人によってちらちらと論議されているが、困ったことに（恥かしいことというべきか）まとまった発展は未だにない。書き忘れていたがエルントンさんは、収容力とはこの「覆い」のことだと喝破したのである。

ところでこの「覆い」にしろ何にしろ、実は収容力には空間的・時間的な変動がある。それにもかかわらず、もし密度が一定しているとする、これは一体何を意味しているのか。収容力にあわせて密度が変化することこそ密度調節の概念にぴったりの筈である。収容力の例えば平均値なり最下限値なりに個体群の量が一定していることは、むしろ調節が行われていないことを意味する。いやこれは言い過ぎだが、前者の方が後者よりも遙かに高等な調節であることには間違いない。わたしはまえに（1976）このことを指摘し、また言うだけではだめだと思って先に（1985）なわばりを持っている動物について、その大きさと餌量との関係を論じたことがある。詳しいことは省くが、少なくとも哺乳類と鳥類は空間的な餌量の差異を明白に認識しており、時間的な変化を予測することも可能らしい結果となった。

すなわち、ここで述べた意味での収容力は「その個体群に関するその環境」のものであるが、「その環境」とはどれほどの広さを持つどのようなものなのかが十分に吟味されなければならない。また「その時の」あるいは「その時間内の」という限定を入れる必要がありそうで、これについても同様に十分な吟味が必要のようである。

4. 「生態系」の収容力

収容力という概念にふさわしいものが実はもう一つある。それにもかかわらず用語としてはもちろん、一般にそういう形では語られた例がないという奇妙なものだ。しかし多くの方は標題を見て「ははん」と思われたに違いない。そう、基礎生産速度のことである。総ての生物の餌資源は究極のところ、光エネルギーから化学エネルギーへの転換量、無機物から有機物への合成量、すなわちこのいずれをとっても大方は緑色植物の光合成に帰着する。従ってこれを基礎生産と呼ぶのももっともだし、この速度がある意味での生物全体の収容力に他ならぬことも明白である。光合成こそが第一義的に重要だと論じた生態系生態学の研究者がこれを収容力だと強調しなかったのは、むしろ余りにも当然だったから忘れただけに違いない。

この概念はあまりにも正しい。しかし多くの場合、あまりにも正しいことは実際上殆ど意味をもたない。個体数ピラミッドが生体量ピラミッドになり、それが生産速度のピラミッドになって

倒立がなくなったとき、実は熱力学の第2法則以外の何物を示すものでもなくなったことは、私自身も何度か冷やかしたところである(1962など)。周知のことだから駆け足で言えば、生物全体の収容力は基礎生産速度だけでは決まらない。栄養段階間ないし食物連鎖の鎖環の効率さはさまざまであってそれで物事は大きく変わるといふこと、基礎生産速度そのものがそれに依拠する生物間の相互作用でかなり変わるといふこと、腐食連鎖が特に陸上ではかなり多くて、時間を比較的短くとれば基礎生産そのものが間接的な意味しか持たぬ場合のあること、以上3つを挙げてみるだけでも充分であろう。つまりもう言うことはない。

ただ先に密度(N)を言い、ここでは速度をとりあげたから、私の頭の混乱を訝る向きもあろう。だが私は前節で密度を論じるとき、数に限るものと理解されないように言葉を選んで来たつもりである。クレーブスさんは(1985)、「収容力とはある地域で永久に支えられる動物の重さのこと」という定義を引いているし、川魚などでは冬まえの量が年々場所毎にほぼ安定するが、この値は数で表示するよりも生体重で表示するほうが一定になる傾向が強い。問題はもちろん「時間当たり」という項を入れるかどうかにある。従来の収容力の概念は、ロジスチック式で明白のように、ある瞬間量、あるいはある時間内の平均または最高量としてきていて、速度の概念ではない。じつはこのディメンジョン論は意外に面倒で、古くから論じられながらまだ解決には至っていない。これは収容力ないし環境容量を考えるうえでも案外に重要な点なのだが、今回は私から問題提起をしたくない。

ちょっと言い方が強すぎたかもしれない。クレーブスさんが生態的収容力と経済的収容力を先の定義に続けて書いているところを引用して口直しをしよう。「植生に影響を与えることなくそのまま維持できる(草食)動物の最大密度を生態的収容力と言い、そこからの取り上げ量を最大に維持できる動物の密度を経済的収容力と言う。後者は常に前者よりも低密度である。」

5. 群集における収容力

私は前節で「生物全体の収容力は基礎生産速度だけでは決まらない」と言った。そして前々節では「似た要求を持つ種間の競争、捕食・寄生・病気などの天敵の存在が収容力に大きい影響を及ぼす」と言った。生物は現に単独では生きられないものであって、周りに様々な種がいる状態で存在するものであり、またそのような中で進化し、今の生活様式を作り上げて来たものである。従って収容力を種単独で論じ、あるいは全生物をただ一括して論じることが、操作的にはともかく理論的にはそもそもおかしいことである。

まず、似た生活様式を持つ種だけをまとめて考えてみよう。粗っぽく言えばいわゆるギルドの話である。

ロジスチック式を拡張したロトカ・ボルテラさんの式 $dN_i/dt = r_i N_i \{1 - (N_i + K_{ij} N_j)/K_i\}$ を見てもすぐ解るように、競争種の存在によって当該個体群の収容力は減少する。そしてその2種の合計収容力は、競争種のない状態における収容力とは、勿論等しくない。以上

は今更言うまでもない周知のことである。

ところで、この k_{11} は正であるというのが、通常の考え方であった。だがそもそも単一個体群においても、いわゆる過疎という問題が存在することは、今やよく知られている。先のロジック式でいうなら、右辺を変形して、 $N(r-hN)$ と書くとき、 h は一般に今でも同じく正として扱われているが、本当のところは N がある値に達するまでの間は、それが負であることが既によく解っているのである。あいもかわらず正だとしておくのは、とりえず過密の部分だけを問題にする怠け心にすぎない。

同様にこの k_{11} の値が負になる場合の存在する事が、わたしどものタンガニーガ湖での仕事から、最近同様に明らかになったのである。例えばこの公害研究所の主任研究員である高村健二さんは、藻を食う種同士の間で、*Petrochromis polyodon* が *Tropheus moorei* にとって食物量を減少させると同時にその質を良くすることを克明な観察と野外実験とで見出し、片利共生的であることを明らかにした(1983)。本人は、後者が前者の皮膚から寄生虫を取るところを見たと称して相利共生としているが、長期間にわたる克明な調査にもかかわらず、その観察回数は非常に少ないので、それでは前者は相対的にかなり損ではないかと私はひそかに思っている。尤も、本当に困ったときに助けてくれる者こそ真の友だと考えることもできるわけで、それなら回数の少なさは問題にならないかもしれない。こういう話は、とにかくなかなか科学の世界には乗りにくいので、魅力はあるが深入りは止めておこう。

また堀道雄さんは、小魚を食う *Lamprologus* 3種と鱗を食う *Perissodus* 2種とについて、同じ餌を違ったやり方で狙うものすなわち異種の存在がそれぞれの種の摂食成功率を大きく上げることを確かめていて、これは言わば相利共生的である(1987)。この後の例は、いわゆる大学紛争を経験した教師どもにはよく解るに違いない。そなわち、同じ考えをもっている単一の集団に吊しあげられるときは、それに対応するのは比較的簡単である。これに対して、相手が互いに全く異なる角度から突いて来る場合、すなわち相手側の意見が統一されていない場合、さらには二つ以上の違う意見をもった集団と対決する場合は、先のように余裕を生じない。これと同様に、食われるべく狙われている小魚や鱗をはぎ取られる魚の立場に立てば、同じ攝食行動でやって来る複数個体から逃げることは比較的容易としても、違ったやり方で食いに来る連中をいなすのはなかなか大変に違いない。

さらに堀さん(1987)と遊磨正秀さん(未発表, 川那部・名越 1987参照)とは、底生動物食の種は混群を作ると摂食回数や摂食成功率の上がることを明白にしている。このような共生的関係はまた、繁殖行動においても見られるが(柳沢 1985, 中井 未発表, 川那部・名越 1987参照)、それは先に書いたものでも見てもらうことにして(1984, 86)、省略に及ぼう。

こうしたかたちの共生関係は、従来知られているものとは違って、同じあるいは良く似た要求を持つもの同士の間関係である。それがタンガニーカ湖でうまくいったやすく観察出来たことには勿論理由があるが、それはここでは敢えて述べないでおきたい。しかし逆に、こういう関係

がそのほかの所では存在しないと断言するわけにはいかない。それがあってはならないかと思っ
て見なければ、あれどもなきがごとく、見れども見えずと言うのが普通であること言うまでもない。
したがって収容力なるものが、このような関係によって大きく変動することも、また限られた所
での限られた事柄だとは、決して言い切れないのである。

捕食者あるいは寄生者の存在が競争関係に影響を与えることも、実験個体群においては古くか
ら知られていることである。昆虫とその捕食寄生者とに関する内田俊郎さんのきれいな仕事はつ
とに有名である(1953)。しかしこの問題もまた、限られた局面だけで認められるものではある
まい。エルトンさんが言ったように、例えば「動物の侵害が存在するために、植物間の競争は完
全な最終結果まで到達せず、したがって共存することが出来るのであり、逆に言えば、そう言っ
た動物群集を伴って進化して来た植物の種あるいは群集だけが今まで生き残って来た」のである
(1949)。

このように見て来ると、群集における収容力をまともに考えることは、正に生態的地位を問
題にすることに他ならぬことがわかる。さあ、大変な問題になって来た。これこそ生態学が、と
くにここしばらく懸命に考えなければならぬことである。すなわちもう、ここでいいかげんに
書き続ける訳には行かない。

6. おわりに

最初にお断りしたように、わたしはここで環境容量を専ら収容力と同義として扱って来た。も
しも公害研究所におけるそれが「汚染質の限界容量」に限られるものだとすれば、全く無駄であ
ったかもしれない。

だが、わたしは、あなだちそうとも思わない。仮にそれが「汚染質の限界容量」であったとし
ても、そこに認められる物質の相互作用は、生物の相互作用とも関連して複雑に起こる筈で、群
集について上にざっと見直したことがそのままとは言わず、ある程度は当て嵌まるに相違ない。
いわんや「生態系」の収容力と言った程度の大まかな話で事が終わるとはとても考えられないし、
「限界」とは一体本当には何かと言ったことも、先に密度について考えたところと基本的には同
じであろう。もしもそうだとすれば、それほど卑下することもあるまい。

概念論を一年間やってみられたことに対しては、まずは敬意を表したい。最近、理学部のよ
うな虚学をやるところですら、そう言うことをしないところが増えているからである。しかしそ
れと同時に、具体的な仕事に手を付けながらでなければ、こういう問題についての考えは進めら
れない面もある。今後の発展を期待したい。

引用文献

- BEGON, M., HARPER J. R. and TOWNSEND, C. R., 1986. Ecology. Blackwell, Oxford.
BURCHFIELD, R. W. (ed.), 1972. A supplement to the Oxford English dictionary, I.

- Oxford University Press, London.
- ELTON C. S., 1933. The ecology of animals. Methuen, London. (川那部浩哉ほか訳, 1978. 動物の生態. 思索社, 東京 所収)
- ELTON, C. 1949. Population interspersions : An essay on animal community patterns. J. Anim. Ecol., 37 : 1-23. (川那部浩哉ほか訳, 1978. 動物の生態. 思索社, 東京 所収)
- ERRINGTON, P. L., 1934. Vulnerability of bob-white populations to predation. Ecology, 15 : 110-127.
- ERRINGTON, P. L., 1946. Predation and vertebrate populations. Quart. Rev. Biol., 21 ; 144-177, 221-245.
- FLEXNER, S. B., et al., 1987. Random House dictionary of the English language, 2nd ed. Random House, New York.
- GAY, H., et al. (ed.), 1984. Longman dictionary of the English language. Longman, Harlow.
- HORI, M., 1987. Mutualism and commensalism in the fish community of Lake Tanganyika. "Evolution and coadaptation in biotic communities" (ed. KAWANO, S. et al.), 219-239.
- 川那部浩哉, 1973. 個体群 (の) 生態学. 「高校教師用指導書 生物II」(三省堂), (川と湖の生態学. 1985, 講談社学術文庫 所収)
- 川那部浩哉, 1976. 総合討論のために : 「<個体群>と<行動>」. 個体群生態学会報, 26/27 : 37-39.
- 川那部浩哉, 1985. なわばりについての「なわばり」的考察. 「川と湖の生態学」(講談社学術文庫), 76-114.
- 川那部浩哉, 1984. アユの目でタンガニーカ湖の魚を見る, 付 シンポジウム進化の不思議. 創造の世界, 51 : 6-51.
- KAWANABE, H., 1986. Cooperative study on the ecology of Lake Tanganyika between Japanese and African scientists, with special reference to mutual interactions among fishes. Physiol. Ecol. Japan, 23 : 119-128.
- KAWANABE, H. & NAGOSHI, M. (ed.) 1987. Ecological and limnological study on Lake Tanganyika and its adjacent regions IV. Dept. of Zool., Kyoto Univ., Kyoto.
- KREBS, C. J. 1985. Ecology, 3rd ed. Harper & Row, New York.
- 森下正明, 1952. 棲息場所選択と環境の評価, アリジゴクの棲息密度についての実験的研究 (I). 生理生態, 5 : 1-16.
- 沼田真 (編), 1974. 生態学辞典. 築地書館, 東京.
- 沼田真 (編), 1975. 生態の事典. 東京堂, 東京.
- RICKLEFS, R. E., 1980. Ecology, 2nd ed. Nelson, London.

- TAKAMURA, K., 1983. Interspecific relationship between two Aufwuchs eaters *Petrochromis polyodon* and *Tropheus moorei*, with a discussion on the evolution and function of the symbiotic relationship. *Physiol. Ecol. Japan*, 20 : 59-69.
- 内藤俊郎, 1949. 動物個体群の実験的研究. *生物学の進歩*, 4 : 61-120.
- UTIDA, S., 1953. Interspecific competition between two species of bean weevil. *Ecology*, 34 : 301-7.
- 内田俊郎, 1973. 動物の人口論. NHKブックス, 東京.
- 山田常雄ほか(編), 1977. 岩波生物学辞典 第2版. 岩波書店, 東京.
- YANAGISAWA, Y., 1985. Parental strategy of the cichlid fish *Perissodus microlepis*, with particular reference to intraspecific brood 'farming out'. *Env. Biol. Fishes*, 12 : 241-261.

6. 環境資源・資産・容量について

北島佳房（筑波大学社会工学系）

1. はじめに

本日のシンポジウムのテーマは「環境容量」であります。担当の方におききしたところでは、環境資源派と容量派で議論があり、資源だと利用の観点がつよくなるとの意見が大勢を占めてこのようなテーマ（特別研究の主テーマ）になったとのことであります。発表にさいしては“環境容量”についても触れてほしいというのが、シンポ担当の方よりの要望でもありました。それゆえ2節において環境容量について言及し、第3節において環境資源・資産概念について論じることとします。なお、文章中での引用にさいしては敬称を略させていただきます。

2. 環境容量とそ関連研究について

2. 1 環境容量について

ここではまず環境容量についての私の理解の程度を整理してみたい。わが国における環境容量概念にかかわる研究としてここでは以下の8点を参考にする：

- 1) 財団法人環境文化研究所（1972）環境容量計量化調査研究報告書－水系を中心とした環境容量の研究－
- 2) 末石富太郎（1975）都市環境の蘇生，中央公論社
- 3) Sueishi, T. (1973), "Theory of environmental capacity for regional management of water pollution control," Discussion Paper No.67. Kyoto Institute of Economic Research, Kyoto University.
- 4) 末石富太郎（1982）環境学への道，思考社
- 5) 末石富太郎，富尾桂一（1983）“ウオーターアナリシスの基礎的研究，”エネルギーと資源，4（1）
- 6) 末石富太郎，新沢秀則（1986）“都市におけるものと水の流れ” in 小笠原秀雄編 都市計画の基礎としての都市生態系の総合的研究 I，文部省科研費報告書
- 7) 丹保憲仁（1976）“都市・地域水代謝システムの構造と容量（I），”水道協会雑誌，第497号
- 8) 丹保憲仁，亀井 翼（1976）“都市・地域水代謝システムの構造と容量（II），”水道協会雑誌，第502号

多くは10年以上前にかかれたものであるが、近年、“Our Common Future”（大来，1987）などに、いわゆる“持続的開発”の概念が登場するとともにこの種の議論があらためて見直されてきている。

環境容量についての基本的文献は、財団法人環境文化研究所（1972）である。この書の前書きには次

のようにのべられている：“昭和46年7月に環境庁が発足後、ただちに企画調整局において環境容量についての討議がなされている。昭和47年には「日本列島改造」ブームが持ち上がり、この余波をうけた環境容量論は、「自然の浄化能力の限度を定量化したもの」という社会的定義すら下されて、遂に開発の限度を明示するという責務すら背負われた感があるのである。環境容量を明らかにすることと公害対策とは、理想的にはもちろん同一の道すじの上に並ぶものであるけれども、長期的・短期的な効果を考える場合には、両者は必ずしも同じではない。”環境基準を設定することが、暗黙のうちに、そこまではよごしてよいとうけとられる、ということへの危惧にねざした研究である。この文献では4つの環境容量概念を定義するとともに若干の実証例を提示している。文献1の内容の平易な紹介を試みたのが文献2である。文献3は4つの環境容量概念のうち、環境容量1と環境容量2を定式化している。今、簡単化のために、汚濁物質の流れ方向への拡散はない（川の流れによる移送が卓越している）という押し出し流れモデルをもちいると、河川の任意の地点 x ，単位時間についての汚濁物質の収支式は偏微分方程式で記述される：

$$\partial c / \partial t + \partial(cu) / \partial x + f_1(c) - f_2(x, t) = 0 \quad (1)$$

ここで、 c は汚濁物質の濃度を、 u は流速、 f_1 は単位時間内における汚濁物質の浄化による濃度変化項、 f_2 は単位時間内に外部から地点 x に流入する汚濁濃度や内部生産項に対応している。

さて、淀川が大阪湾に流れ込んだり、恋瀬川が霞ヶ浦高浜入りにながれこむといった場合、地域社会システム（ここでは大阪湾や高浜入りは含まないとする）にとっての空間的な境界（大阪湾口とか高浜入口）にあたえられる汚濁負荷制約が環境容量1である。それゆえ環境基準といった形で第一の環境容量制約が与えられ、かつ濃度変化について定常状態、 f_1 について一次反応式、 f_2 について内部生産項なし（川底があたかも鉄板をはってあるかのように仮定）といった簡単化をすれば対象河川に排出される汚濁負荷についての上限がえられる。

ところが定常状態（ $\partial c / \partial t = 0$ ）を仮定しないと、システム内の河川水域に汚濁物質が蓄積しうる。どのように蓄積させるかについては水の用排水システムの組み方によっていろいろありうる。ともかくシステム内の蓄積にかんする制約が環境容量2と考えられる。この第二の環境容量にどうアプローチするのであろうか？これまでのところ、2通りの方法がとられてきたようである。

第一のアプローチは文献7、8に代表される。このうち文献8は、取水－上水処理－利水－排水処理－放流河川水といった都市水代謝の過程で水質がどのように変化するかを、ゲルクロマトグラムによって定量的に分析した結果を報告している。これらの結果にもとづいて丹保らは、現行の上下水処理方式を前提とするかぎり、上下水の入り込み利用のされている水域（連鎖直列型水代謝系）では、生物難分解性の有機物や窒素、リンなどの無機栄養塩が蓄積しやすいこと、また汎用的な処理方式では除去しにくい極端に低濃度化した成分の単位負荷量あたり処理コストはきわめて高くなることを指摘した。こうした実証研究にもとづいて環境容量2の内部構成案を提出している（文献1、p31の図3.6）。汎用水処理になじまない要素は発生源近くで処理し、拡

散型境界の形で社会環境システムと自然環境がつかないようにしようという考えである。ユネスコのMAB計画が推進する生物圏保護地域が、特別保護地区を本丸として、BUFFER 1, BUFFER 2, 多目的利用地域を、いわば二の丸、三の丸、内堀、外堀に対応するといった形で指定していく方針であるが、これに似た考え方である。

第二のアプローチはその定式化が文献3でなされていて、関連する説明が文献2, 4にある。丹保らと同じく、環境容量1の手前にバッファゾーンを組み込もうとするものである(図1)。丹保らが水処理技術に重点をおいたのにたいして、社会経済的側面にまでふみ込もうとした点に特色がある。環境容量を保持しうる社会システムの構築へむけての一里塚が盛岡(1986)による環境家計簿にかんする研究とすればそのめざすところの一端がかいまみられる。ただし、環境容量2(および3, 4)の数学的定式化は難解である。定式化のポイントはフラックス概念をもちいることにあるようであるが、フラックスという概念は社会科学にはあまり聞き慣れない概念である。ただし、その社会経済現象への適用例が文献1(6-3節)における人口活動量(ある地域における定住人口に滞在年数をかけたもの)だとすると、計画論としてはこういう進化論的見方もありえようが、ある種の意思決定過程との係わりに関する分析をとまなわなくては説得力にかける(計画理論における意思決定過程をミクロにとらえるか、マクロにとらえるかについては、Davidoff and Reiner(1962)及びDakin(1963)が参考になる)。ここでは、文献3中の定式化の試みをとりあげてみる。今、地点xの単位距離あたり水量をvとすると、流量の収支式は、

$$\partial v / \partial t + \partial u / \partial x = -r \quad (2)$$

となる。ここでrは地点xにおける単位時間あたり取水量である。水量にふくまれる物質の質量収支式は、

$$\partial (sv) / \partial t + \partial (su) / \partial x = -rs' \quad (3)$$

となる。sおよびs'は物質の濃度である。ここで(3)の物質収支式概念を援用して、(2)式の水収支に対応する一種の価値収支式を考えてみる：

$$\alpha \partial r / \partial t + \beta \partial (rv) / \partial x = \gamma r_0 - k \delta r \quad (4)$$

この式の意味するところを文献4(p157)から引用すると、

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{系のもつ価値の} \\ \text{時間的变化割合} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{価値*情報伝搬速度} \\ \text{の空間的变化割合} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{系外部からの} \\ \text{価値の獲得率} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{定数*系のもつ} \\ \text{現在価値} \end{array} \right\} \quad (5)$$

となる。(4)式と同様の式が、水利用にともなって発生する汚濁物についてもかきうる(文献3では、(4)式との連立式として定式化されているが、末石らのその後の実証研究では連立して考察されていないようなので、ここではとりあげない)。(4)式における α , β , γ , δ は価値への変換パラメータと考えられる。この(5)式も難解である。個人レベルでの行動にあてはめた説明は文献2(第4章)にある。水利用にかんする潜在的欲求(右辺第一項)を解消するには、実際に自ら水を利用する(右辺第二項)か、自分と他人との欲求の格差を認識して他の人に転移する(水をゆずる)か、ないしは欲求解消行動を時間的にのばす(我慢する)かいずれかである、という風

に解釈しうる。(4)式および(5)式についてこれ以上ここでは言及しない。ただし、(5)式の左辺第二項の経済事象への適用をねらったとも考えられる文献5, 6について次節であつかう。

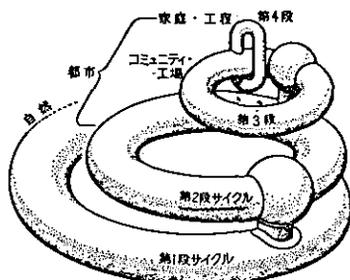


図 1 環境の4段サイクル

2. 2 産業連関分析とウォーターアナリシス

図2は産業連関表の構造を示している。ある特定地域(国や県レベル)内の各産業部門で生産された財の販路と、生産するのに必要な原材料等の調達内容を一定期間について記録した結果をとりまとめるものである。原材料等は、産業部門で生産されるもの(中間財という)と、対象期間については経済系にとって所与と考えられる労働力、資本など(生産要素という)からなっている。この産業連関表を資源・エネルギー分野に適用するのに2通りの方法がある。一つは需要側から分析する方法である。すなわち、投資、消費、純輸出といった最終需要が増えたときに、生産にとって直接・間接に必要な必要総水量や総エネルギー量を求めようというものである。エネルギーでの例にHerendeen(1973)が、水での例にTate(1986)がある。

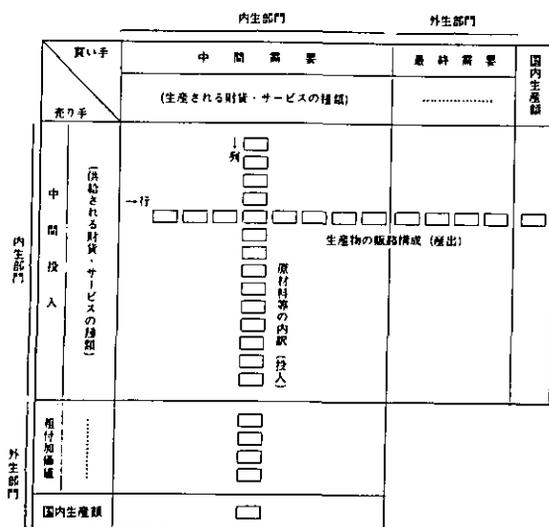


図 2

第二は供給側から分析する方法である。これは生産活動にとってボトルネックになっている生産要素に着目して、その生産要素をもちいて各産業部門で生産される財の価格づけを行おうというものである。目指すところは、財一単位の生産に直接・間接に必要なエネルギー（エネルギー集約度）ないし水量（水集約度）をもとめようというものである。前者の研究に Bullard and Herendeen(1975) がある。後者の研究例が末石ら（1983, 1986）であるが、特徴は地域間産業連関表をもちいて、水集約度の地域間相互関連を計算していることである。彼らの定式化を簡単にまとめてみる。図3は第j産業部門の水収支を示したものである。ここで w_j は第j産業部門の水集約度、 X_{ij} は第j財一単位生産するのに必要な第i財の量、 R_j は水（上下水）部門を産業部門の一つと数える時はj部門の循環再生水量である。それゆえ、

$$w_j X_j = \sum_i w_i X_{ij} + R_j \quad (3.6)$$

両辺を X_j で除し、投入算出係数 $a_{ij} = X_{ij} / X_j$ および単位生産あたり循環再生水量 r_j を用いると

$$w_j = \sum_i w_i a_{ij} + r_j$$

ないし、行列表示

$$w = (1 - A')^{-1} r \quad (3.7)$$

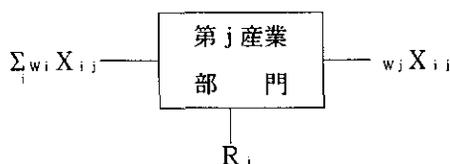


図 3

の形で各部門の水集約度をもとまる。図4は水集約度みる地域間連関の計算結果の例である。千葉県が茨城県から誘発した水需要は、中間財と最終需要財の移入をあわせて年間4億7000万トン（276+194）、一方茨城県が千葉県から誘発したのは4億4000万トン（375+69）、最終財だけを見ると、千葉県は茨城県から1億9400万トン（その内80%は食料品の移入）といったことがこれからわかる。

末石らの目的は水集約度とエネルギー集約度とを統合的にあつかいつつ、地域の水循環系のviabilityのチェックを試みることにあろうである。興味深い試みであるが、環境資源論の観点からは、末石ら（1986）における水集約度の計算では上下水道部門が一緒になって経済部門の一つ（水部門）になっているため、水循環を通じた地域間の連関が地域の自然環境ストック（環

境容量)の劣化とどのように係わっているのかが不明という弱点がある。これまでの環境容量概念の議論から明らかなように、自然環境と社会経済との主要なつながりの役目をするのが公共サ

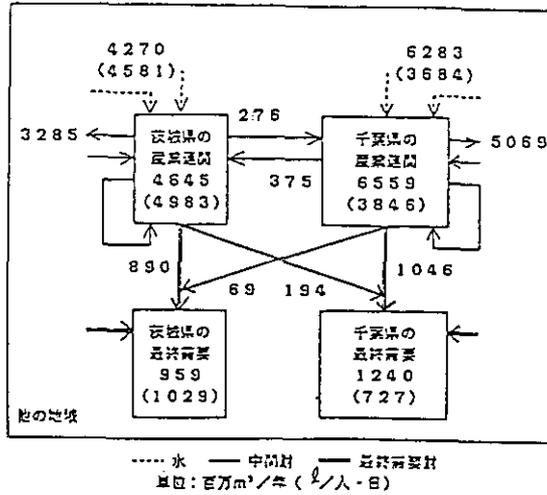


図 4 千葉県と茨城県の水集約度連関 (1980)

出典: 末石・新沢 (1987)

ービス部門としての上下水道部門である。それゆえ、ここでは産業連関分析理論の環境関連分野への適用例を参考にしつつ、水集約度にかんする研究をもう一度レビューしてみる。環境関連分野への産業連関分析の適用例として有名なのはLeontief(1970)にはじまる公害防除活動の経済影響分析であろう。わが国においても通産省 (1971), 建元 (1972), 新飯田 (1978, 9章) などがあ

る。例として、4財4生産部門、生産要素(生産活動につかわれる投入財のうち、生産部門によってつくられる中間財以外のもの)として地下水と表流水、それに自然の浄化能力という3つの自然資源フローおよび2つの本源的生産要素(労働力と資本)からなる経済系をとってみる。投入産出のモデルは次のような財および生産要素の需給バランス式(一種の質量保存式)、ただし行列表示、によって示される。

	第一産業	第二産業	上水供給部門	下水処理部門	最終需要	
	生産活動	リサイクル活動				

$$\begin{matrix}
 \text{第一財} \\
 \text{第二財} \\
 \text{上水} \\
 \text{排水}
 \end{matrix}
 \begin{pmatrix}
 1-a_{11} & -d_{11}(\alpha a_{31}) & -a_{12} & -a_{13} & -a_{14} \\
 -a_{21} & & 1-a_{22} & -a_{23} & -a_{24} \\
 -a_{31} & \alpha a_{31} & -a_{32} & 1-a_{33} & -a_{34} \\
 a_{41} & & a_{42} & & -(1-a_{44})
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 X_1 \\
 X_2 \\
 X_3 \\
 X_4
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 F_1 \\
 F_2 \\
 F_3 \\
 F_4
 \end{pmatrix}
 \quad (8)$$

資源制約

$$\begin{array}{l}
 \text{地下水} \\
 \text{表流水} \\
 \text{汚濁物} \\
 \text{労働} \\
 \text{資本}
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 -a_{r1} & -a_{r2} & -a_{r3} & & \\
 -a_{t1} & -a_{t2} & -a_{t3} & (1-a_{t4}) & \\
 -a_{z1} & -a_{z2} & & 1-a_{z4} & \\
 -a_{L1} & -d_{L1}(\alpha a_{21}) & -a_{L2} & -a_{L3} & -a_{L4} \\
 -a_{K1} & -d_{K1}(\alpha a_{21}) & -a_{K2} & -a_{K3} & -a_{K4}
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 X_1 \\
 X_2 \\
 X_3 \\
 X_4
 \end{pmatrix}
 \geq
 \begin{pmatrix}
 -R \\
 -T \\
 -Z \\
 -L \\
 -K
 \end{pmatrix}
 \quad (9)$$

(8)式、(9)式はそれぞれ生産財、生産要素の需給バランス式である。生産財には第一、第二産業によって生産される第一財、第二財、上水部門による上水、それと第一生産活動のこのましくない副産物である排水の4つがある。 a_{ij} は第j部門の製品一単位の生産に投入される第i財ないし第i生産要素の量である。ただし、 a_{44} は下水処理場に流入する排水量のうち、汚泥に吸収されるなどして、表流水に排出されるときに減少する率のことである。 α は第一財一単位の生産に必要な上水量 a_{21} のうちリサイクルされる率のことである。 d_{ij} は第一部門のリサイクル活動に必要な第i財ないし生産要素のことである。 F_1, F_2, F_3 は消費部門で使われる第一財、第二財および上水量のこと、また排水の全量が処理されるときは $F_4 = 0$ となる。 R, T, Z はそれぞれ、単位時間内に当該地域内で利用可能な地下水量、表流水量、浄化能力量、 L や K は労働量、資本量制約である。 X_j は第j部門の生産水準を示している。図5は(8)、(9)式の解法を示している。実際には4次元空間に図示せねばならないが、2次元空間に例示してみた。資源制約式および非負の生産量を満たす領域内(斜線部分)に最終需要ベクトル(F_1, F_2, F_3, F_4)が与えられ、かつ、技術係数行列(A)がある種の性質(ホーキンスサイモンの条件)を満足すれば、(8)、(9)式の解(X_1, X_2, X_3, X_4)を求め得る。

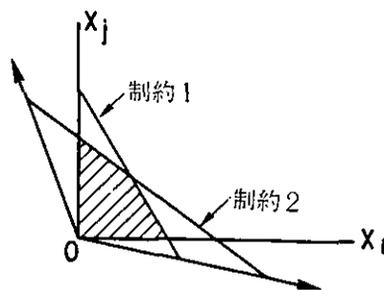


図 5

さて投入産出分析で忘れてならないのは、(8)、(9)式の背後にある、所要費用の価格転嫁式(ないし生産価値の生産要素への分配式)である。技術的、資源制約的にみでの実行可能な生産プロセスと、生産財の価格づけとは表裏(双対)の関係にある。(8)、(9)式が質量保存式とすれば、価値保存式に対応する式である。今、第一財の単位価格を P_1 、上水サービスの単位価格を P_2 、下水

処理サービスの単位価格を P_3 、地下水揚水の単位費用を P_r 、表流水取水の単位費用を P_t 、環境浄化能力の使用料を P_z 、労賃 w 、資本のレンタル費用を r としてみる。すると、各財・サービスの価値バランス式は、

$$\begin{aligned}
 P_1(1-a_{11}-d_{11}(\alpha a_{31})) - P_2(a_{21}) - P_3(a_{31} - \alpha a_{31}) - P_4 a_{41} &= (a_{r1}P_r + a_{t1}P_t + a_{z1}P_z + a_{L1}w + a_{K1}r + d_{L1} \cdot \\
 &\quad \alpha a_{21} + d_{K1} \alpha a_{21}) \\
 P_2(1-a_{22}) &\quad -P_1 a_{12} \quad -P_3 a_{32} \quad -P_4 a_{42} = (a_{r2}P_r + a_{t2}P_t + a_{z2}P_z + a_{L2}w + a_{K2}r) \\
 P_3(1-a_{33}) &\quad -P_1 a_{13} \quad -P_2 a_{23} &= (a_{r3}P_r + a_{t3}P_t + a_{L3}w + a_{K3}r) \\
 P_4(1-a_{44}) &\quad -P_1 a_{14} \quad -P_2 a_{24} \quad -P_3 a_{34} = (a_{L4}w + a_{K4}r - P_t(1-a_{44}) - P_z(1-a_{24}))
 \end{aligned} \tag{10}$$

となる。左辺は生産による売上から中間製品の購入費用を差し引いた付加価値を、右辺はこの付加価値が各生産要素にどのように分配されるかを示している。(10)式を行列形式で表現すると

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{pmatrix} = (I - A')^{-1} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{pmatrix} \tag{11}$$

となる。ここで A は(8)式左辺の係数行列に、 A' は A の転置行列、 v_j は第 j 財の付加価値 (10) 式の右辺) に対応している。すなわち各財・サービス生産に投入される生産要素に支払うべき費用 (これが(11)式の付加価値ベクトル (v_1, v_2, v_3, v_4)) が所与のときに、各財・サービスの供給価格ベクトル (P_1, P_2, P_3, P_4) をもとめるのが(11)式である。治山・治水目的税 (P_t の増加) によって各財・サービスの価格がどの程度アップするのかの分析などに(11)式は利用しうる。(10)式の定式化では、水量の観点からすれば上水部門は目的税の支払い側であるが、下水部門は割戻しをうける側となる。ただし既定の水利権が優先するとすると、それを侵害しないように下水放流が調整されるであろうから、割戻しはない。

さて前置きが長くなってしまったが、この式と(7)式を比較してみよう。(7)式では上下水道部門が一つであるから、ここでの技術構造と同じではないが、議論の本質的な部分には影響しない。すなわち、(7)式の補給水量ベクトル r および水集約度ベクトル w が、(11)式における付加価値ベクトル v および供給価格ベクトル P に対応している。ケネーの経済表や初期の投入産出分析が、生産要素として労働のみをとり、それによって各生産財の価値づけを行う労働価値説をとっていたのと同じく、エネルギー集約度はエネルギー価値説に、水集約度は水価値説に立脚しているといえる。著者の見解は、(8)、(9)、(10)式を地域間、異時点間に拡張しつつ環境容量問題にアプローチしていった方が、何か一つのボトルネック生産要素に着目して分析するよりもよいのではというものである。

その場合に問題になるのは(10)式における地下水利用量、表流水量、汚濁物の排出量といった環境資源利用量の単価がどのように決まるかである。ここで参考になるのは、第2次石油危機以来、水道料金および下水道料金が増加し、それにつれて利水原単位量および汚濁物排出原単位量が減

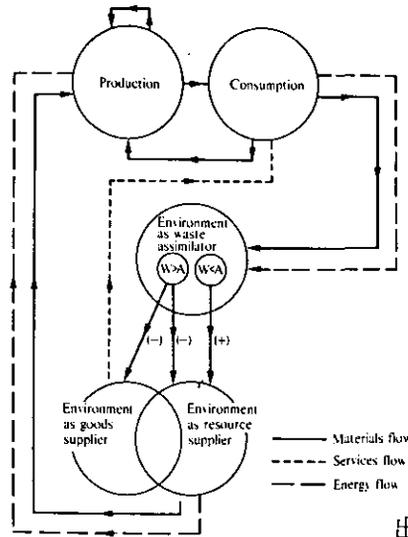
少してきているという実態である。このことはこれら環境資源利用の原単位 (a_{rj} , a_{lj} , a_{zj}) もまた、労働や資本原単位ほどなめらかにではないであろうが、価格変化に応じて変化していくことを示唆している。他方、汚濁物質の排出は、当然、環境系での変換をへて生産活動に必要な自然資源フロー量に影響する。この観点から、とくにレクリエーション活動に与える影響評価のために、投入産出分析と環境モデルの統合を試みたのに、Isard et al. (1972) および Ikeda (1984, 1987) がある。Ikeda (1984) の定式化でも想定されているように、(9)式における汚濁物の排出は自然資源の利用可能量(ないし質)に影響する。有機塩素系物質の排出による地下水汚染などはその一例と考えられる。また地域連関の枠組みにおいて、米国西部で生じているような、上流域での多量の地下水揚水による下流域での水質や土壌の塩類集積など(田瀬, 1986) も一例であろう。このように汚染によって環境資源が劣化していく時に、環境資源利用の原単位や価格づけはどのように変化していくのであろうか。この疑問にこたえるには対象とする地域経済の性格について何等かの仮定を置かねばならないが、小国経済という仮定での予備的研究に Kitabatake (1987) がある。こうした理論研究を参考にして、市場経済下で環境資源保全を確保するには環境資源利用のどのような総量規制でいけばよいのか、それとも総量だけの規制では保全できないのか、どういう場合には出来るのか、といったことについて概観をえてから、実証研究にうつるのが今後の課題であろう。なぜなら、投入産出分析はもともと、取り扱う財・サービスについて完全競争経済を仮定しての分析であるから、(9)から(11)の観点で利用するにしても、環境資源利用と市場経済との関係の分析は不可欠と考えられるからである。

3. 環境資源・資産概念について

3. 1 環境容量論からの批判

市場経済下での環境資源保全の手段を考えるもう一つの方法は、環境資源の最適管理論の視点であろう。原問題は最適制御問題であるが、市場経済とのからみでおもしろいのは解存在のための必要条件の経済的合意である。こうした視点にたつのが、環境資源の経済学とか、再生可能資源の経済学といわれるものである。

さて図6は環境経済学の分野で、環境資源の3機能(汚染物質の浄化、生産活動への原材料の提供、消費活動への原材料の提供、消費活動への必要財・サービスの提供)を説明するのによく用いられる図である。文献6(p103)は、図6と同様の図について次のようにいう：“この図を「なるほど、生活や生産に必要な物質は自然から直接間接に供給され、廃棄物を自然に戻せば自然の還元力によって再資源化するのか」と読むことはいとも簡単である。しかし、図に描いたような循環の線を実際につくりあげ、かつ維持していくことがそう簡単にできるであろうか。そのような、配慮をいっさい欠いて図のような大きな循環を単純に理解してしまうことは…時間的パースペクティブは最も短い今だけのもの、また地域的なパースペクティブには一見自然までを含めてあるように見えるけれども、それもあくまでまがいものである。” 図1をはじめとする前節



出典：Pearce(1976)

図 6

の議論からはうなづける指摘ではある。一つのポイントは内藤（1975）も指摘しているように”自然の浄化過程というものは、時間スケールと空間スケールの設定によって相対的に決まってくるものである。”という視点の必要性であろうと思われるが、この点の詳しい分析は自然科学にゆだねざるをえない。もう一つは、社会システムをどう作っていくかという視点の必要性であろう。

文献4（p155）には以下の指摘がある：“最近、「再生可能資源の経済学」分野では、漁業と魚の生態でさだまるsurvivalを条件として、漁獲と投資の関係を最適化する研究がなされているが、解釈規則の不統一のそしりはまぬかれえない。わたしが定立したいとかがえている環境経済学は、少なくとも、環境問題の解決に経済学的手法や評価を用いるものを排除したいのである。”前述したように市場経済下での環境保全の可能性をさぐるという視点が最適化研究の背景にあるので、社会システムの実行可能性のチェックの面でなう役割があると筆者は考える。しかし環境経済学といっても発展途上の学問分野であるから多様な試みがあってよい。最近ではエントロピー学派からのアプローチや制度学派からのアプローチも試みられてきている。

3. 2 環境利用の多層構造と認定問題

いずれにしても環境経済の問題は、取り扱う環境の実態についての研究者なりの理解なしには問題の定式化すらむずかしい。図7は霞ヶ浦にみる環境利用を、主として水産と環境との係わりの視点からとりまとめたものである。このとりまとめにあたっては、茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所、茨城県内水面水産試験場でのヒヤリング調査を参考にしている。ワカサギ産卵期にあたる1月21日から2月末までの期間は全ての漁業が禁止されている。この間、天然産卵とともに漁協による人工採卵（昭和62年度は霞ヶ浦全体で約4億粒）および諏訪湖からの移植放流（昭和62

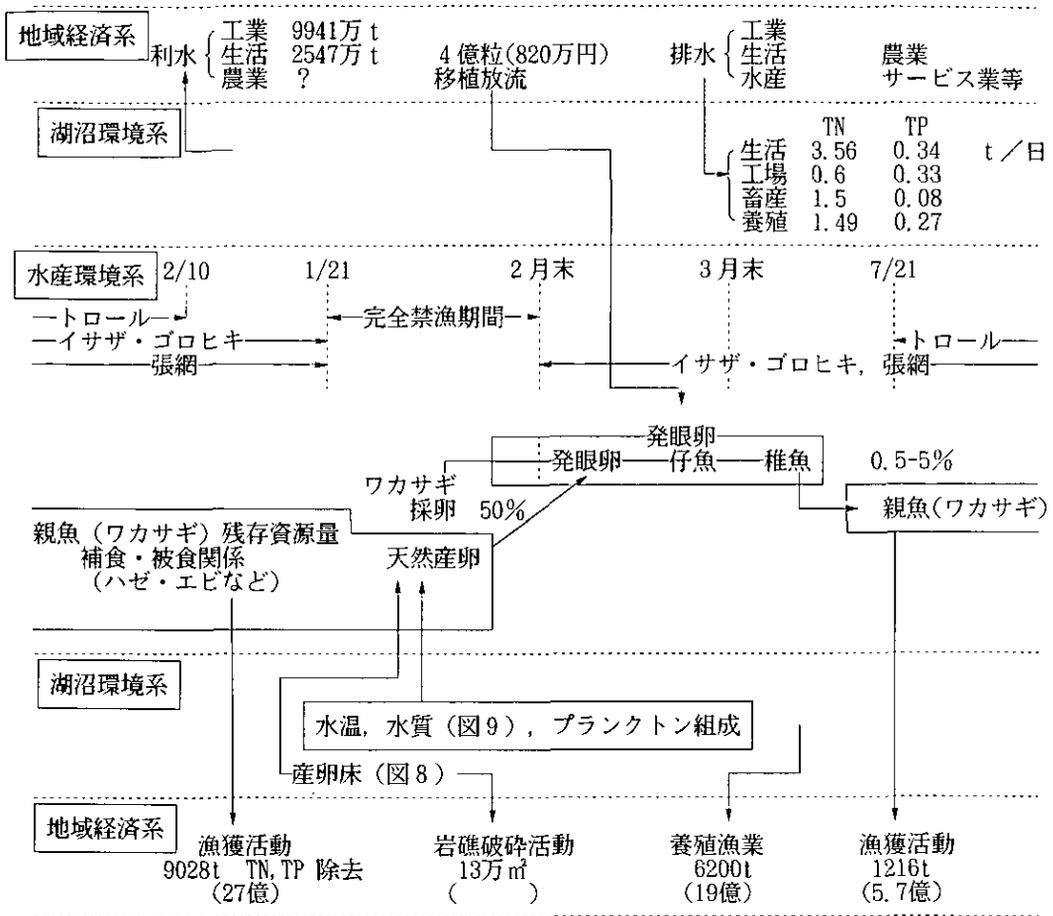


図 7 霞ヶ浦における環境利用活動と環境の厚み

年度は 3.6億粒) が予定されている。ワカサギの採卵, 発眼, 仔魚, 稚魚, 成魚にいたる過程には補食・被食関係だけでなく, 産卵から稚魚, 成魚にいたる期間の水温や水質, プランクトン組成といった環境要因もきいている。図8は加瀬林・中野(1961)によるワカサギ天然卵分布図である。ワカサギ産卵に適した砂地はまた土砂採取の好適地でもあり, ほぼ同地点に現在(昭和62年度下期), 土砂採取船が稼働しているのが目視調査によって確認しうる。

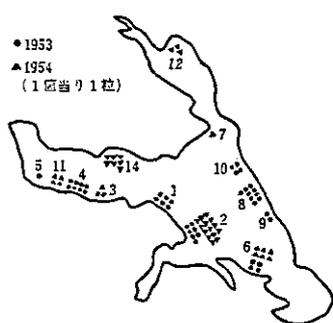
産卵から仔魚にいたる期間(1-3月)の平均水温とワカサギ漁獲量に係わりがある(茨城県内水試の小沼氏談)といわれているが, 図9はこの関係をプロットしたものである。平均水温は茨城県内水試調査報告に, 漁獲量は農林統計にもとづいている。本来は

ワカサギ漁獲量 = f(残存資源量, 補食・被食関係, 水温, 水質, 産卵床の状態, 漁法, 努力量, 放流量など)

底魚漁獲量 = f(残存資源量, 補食・被食関係, 水温, 水質, 底での状態, 漁法, 努力量など)

水質 = f(流入負荷量, 水温, 底での状態, 漁業資源量, 漁獲量, 利水量, 水門操作など)

……といった構造関係式が考えられ、毎年毎年の漁獲量はこの構造関係式の外生変数に特定値を代入してえられる連立（微分）方程式の解に対応している。それゆえ、図9で水温とワカサギ漁獲の間に右下がりの相関関係が認められるとあって、それがそのまま因果関係とはいきれない。しかしながら、図7に示すような形で湖環境が現に多様な利用をされている以上、また、浜田・津田（1976）や春日（1981）によって水産環境と湖沼環境との間に大型動物を介する関係が指摘されている以上、水産、環境両面で観測可能なデータを用いて、前述の構造方程式を同定する（この種のことを計量経済学では認定問題という）ことが不可欠と考えられる。なぜ必要かの理由を次に考えてみる。それにしても、国公研で盛んに霞ヶ浦調査が行われた期間（76-82年頃）についてであるが、それ以前とそれ以後の水温とワカサギ漁獲量の関係に比べてやや異なるように見られる理由は何であろうか？



出典：加瀬林
中野（1961）

図 8 天然卵の分布
(1回当たり平均採取数)

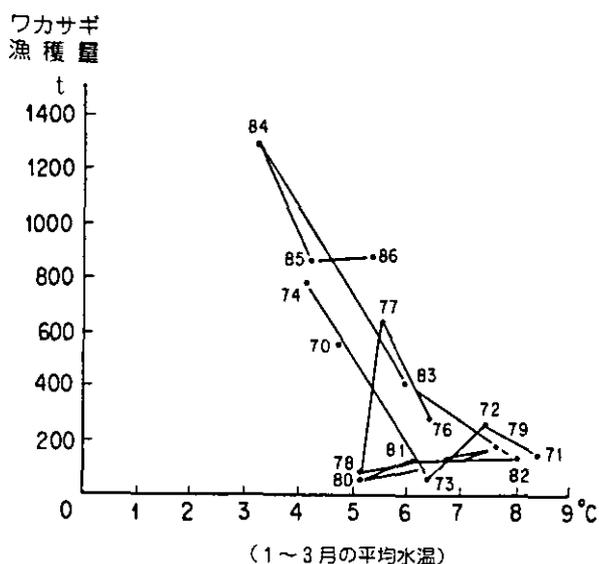


図 9

3. 3 環境資源管理モデルの経済的含意

再生可能資源の経済学に関して、末石のいう“解釈規則の不統一”は末石・盛岡（1977）を参考にする、「分析型めがね」にたっていて「包括型めがね」になっていないという風にも解釈しうる。ここでは“包括型めがね”ではなく、経済学的視点という“分析型めがね”にたって何がいえるか考えてみる。

さて、環境資源とは、それらを育む環境が好ましい状態にとどまるかぎり再生可能であるが、誤った利用によっては枯渇の危険性のある資源である。そして環境資源には多種類の利用が競合していること、環境資源ストックの容量は有限であること、フローとしてだけでなくストックと

して人々の厚生に直接に影響しうるといった特徴をもっている (Dasgupta, 1982)。表 1 は、夜空のきら星のごとく数多くある資源管理モデルの代表例の定式化および最適解存在のための主要な必要条件をとりまとめたものである。ここで変数の意味は下記の通りである：

- $U(\)$ or $W(\)$ = 目的関数の一種である (社会) 効用関数； $s(\)$ = 環境資源ストック
 $Y, Y(\)$ or c_2 = 環境資源ストックの単位時間あたり利用量； Q = 汚濁負荷のストック
 $J(S)$ = 環境資源ストックの単位時間あたり純自然成長率； Y_1 = 環境資源ストックの資産価値
 q = 経済資源利用の単位費用； P = 最終生産物の単位価格
 b = 汚濁負荷ストックの自然減耗率； ρ = 将来価値の割引率 (利率率)
 ψ = 自然状態下での環境資源ストックの単位価格； ϕ_0 = 利用可能な経済資源量
 E_1 = 資源利用活動に投下される経済資源量； E_2 = 環境復元 (増殖) 活動に投下される経済資源量

表 1 再生可能環境資源利用モデルの代表的定式化

Objective function	Profit Function	Utility function	Main necessary conditions for optimality equilibrium condition for asset market \rightarrow long-run stationary condition
Technological characteristics			
1) Exploitation require no economic resource	Dasgupta-Heal [1] $\text{Max}_Y \int_0^T PY \exp(-\rho t) dt$ $\text{st } \dot{S} = J(S) - Y$	Neher [9] $\text{Max}_Y \int_0^T U(Y, S) \exp(-\rho t) dt$ $\text{st } \dot{S} = J(S) - Y$	(PB1) $\dot{\psi}/\psi + J_S(S^0) = \rho \rightarrow J_S(S^0) = 0$ (Dasgupta-Heal) (PB2) $\dot{\psi}/\psi + J_S(S_1^*) + \partial U/\partial S_1^* / \psi = \rho \rightarrow J_S(S^0) \psi^0 + \partial U(S^0, Y^0) / \partial S = \rho \psi^0$ Imputation rule of environmental resources (MP) $\psi(t) = dV_1/dS_1^* \rightarrow \psi^0 = P$ (Dasgupta-Heal) $\psi^0 = \partial U/\partial Y^0$ (Neher)
both environ. and economic resources	Dasgupta-Heal [2] $\text{Max}_{E_1, E_2} \int_0^T (PY(S, E) - qE) \exp(-\rho t) dt$ $\text{st } \dot{S} = J(S) - Y(S, E)$		(PB) $\dot{\psi}/\psi + J_S(S_1^*) - Y_S(\cdot) / \psi = \rho \rightarrow (P - \psi^0) Y_S(\cdot) + J_S(S^0) \psi^0 = \rho \psi^0$ (MP) $\psi(t) = dV_1/dS_1^* \rightarrow q = (P - \psi^0) Y_E(S^0, E^0)$
only economic resources	Pinard [10] $\text{Max}_{E_1, E_2} \int_0^T (U(C_1) + W(C_2)) \exp(-\rho t) dt$ $\text{st } \dot{S} = J(S) - C_2$ $C_1 = F(E_2)$ $C_2 = Y(S, E_1)$ $E_1 + E_2 = \phi_0$		(PB) $\dot{\psi}/\psi + J_S(S_1^*) - Y_S(S_1^*, E_1^*) + W'(C_2^*) Y_S(S_1^*, E_1^*) / \psi = \rho$ $\rightarrow (W'(C_2^*) - \psi^0) Y_S + J_S \psi^0 = \rho \psi^0$ (MP) $\psi(t) = dV_1/dS_1^* \rightarrow q = (W'(C_2^*) - \psi^0) Y_{E_1} = U'(C_1^*) E_{E_2}$
2) Environmental enhancement activity	Long [5] $\text{Max}_{E_1, E_2} \int_0^T (PY(E_1) - q(E_1 + E_2)) \exp(-\rho t) dt$ $\text{st } \dot{S} = g(E_2) - Y(E_1) + J(S)$		(PB) $\dot{\psi}/\psi + J_S(S^0) = \rho \rightarrow J_S(S^0) = \rho$ (MP) $\psi(t) = dV_1/dS_1^* \rightarrow q = (P - \psi^0) Y_{E_1} = \psi^0 E_{E_2}$
	Forster [3] $\text{Max}_{E_1, E_2} \int_0^T U(E_1, Q) \exp(-\rho t) dt$ $\text{st } \dot{Q} = Y(E_1) - g(E_2) - bQ$ $E_1 + E_2 = \phi_0$		(PB) $\dot{\psi}/\psi - b - \partial U/\partial Q / \psi = \rho \rightarrow -\partial U/\partial Q - b \psi^0 = \rho \psi^0$ (MP) $\psi(t) = dV_1/dS_1^* \rightarrow \psi^0 = -U_{E_1}^0(E_1^0, Q^0) / (Y_{E_1} - E_{E_2})$

出典：Kitabatake (1988)

さて、最も簡単なDasgupta-Heal モデル（バージョン1）（1979）を用いて表中の必要条件の経済的含意をさぐってみる。環境資源ストックの純自然成長率が図10で示され、初期時点のストック量が S_0 であったとする。さてこの場合、資源利用（ $Y > 0$ ）のメリットはあるであろうか？ 答えはN Oである。なぜなら、 S_0 時点での単位利用収入の運用益 ρP よりも、利用をまったときの限界収入 $P J_*(S_0)$ の方が大きいからである。それゆえ、利用者にとっての最適行動は $S = \tilde{S}$ の資源水準に達するまでは利用をひかえ（ $Y = 0$ ）、その水準に達したら自然増分だけ利用しつづける（ $Y = J(\tilde{S})$ ）である。資源の最適利用水準がもとまるための必要条件を示しているのが、表中の（PB）（Portfolio balance）条件である。

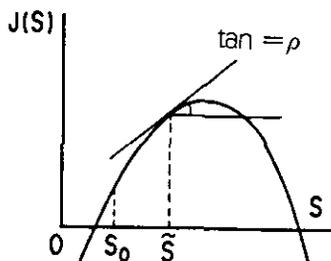


図 10

それでは環境資源の利用価格はどのように決まるのであろうか？ さて議論を具体的にするために環境資源として漁業資源を考える。各漁場は漁場主によって所有され、漁民は入漁料を支払って漁獲活動に従事していると考えてみる。漁場主にとっての最大関心事は自分の所有する漁場の資産価値の最大化であるとする。最大資産価値は、この漁場を最適に利用するときを得られる将来収益の現在価値である。前述の（PB）条件より、最適利用は $S = \tilde{S}$ の水準で利用するところであるから、現在価値は

$$V_0 = \exp(-\rho T) \int_T^{\infty} P J(\tilde{S}) \exp(-\rho(t-T)) dt = P J(\tilde{S}) \exp(-\rho T) / \rho \quad (12)$$

と計算される。ただし、 $T = \int_{S_0}^{\tilde{S}} (1/J(S)) dS$ である。資源量水準が $S = S_0$ であるときの入漁料を ϕ_0 とすると、その額は、漁獲によって漁場の資産価値がどの程度減少するかによって決められる。すなわち、

$$\phi_0 = dV_0/dS \quad (13)$$

である。さて、表1の必要条件は定常状態（既に最適利用水準にある）を仮定しているので、(12)式は

$$V_t = \int_T^{\infty} P J(\tilde{S}) \exp(-\rho(\tau-t)) d\tau = P J(\tilde{S}) / \rho \quad \text{for } t > T \quad (14)$$

となる。それゆえ最適入漁料は(13)式および前述の（PB）条件より $\phi_0 = P J_*(\tilde{S}) / \rho = P$ となる。すなわち、環境資源利用に経済的コストがかからない（E関係しない）ならば、環境資源ス

トックの利用価格は市場価格に等しくなるのである。このように、自然条件下での環境資源ストックのスポット価格を決めるのが表1中の(MP)条件である。

以上の準備のもとで、表1の必要条件をまとめると以下の2点になる：1) 環境資源利用に経済的コストがかかる(UないしYにE関係する)ならば、自然環境下での環境資源ストックの価格は環境資源の限界便益ないし限界効用よりも安くなる(あたりまえの結論)；2) 環境資源ストックが目的関数に影響しない時の資源の最適利用水準は $J_0 = \rho$ の水準にもとまる(図10中のS)が、目的関数に影響する時は $J_0 < \rho$ の水準にもとまる。すなわち、環境資源ストックが目的関数に影響する時は資源保全的になるのである。昭和34年の国有林林野規定の変更(林野庁、1959)によって、保続概念にもとづく収穫量最大基準ないし伐期平均成長量最大基準にかわって、見込み成長量にもとづく標準伐採量概念を採用したという意味決定過程は、国産材増伐という短期的要請(目的関数より資源ストックが欠落)に林野当局がおしながされたという風にも理解するという意味でも、興味深い。

さて表1と図7を見比べてみると、これまでの環境資源管理モデルにかけていたものの一つは環境資源復元(増殖)活動であることがわかる。排水処理やワカサギの移植放流は環境資源復元活動の一例と考えられる。これに対して、利水や漁獲活動、汚濁負荷の排出、岩礁破碎活動は環境資源ストックの利用(減耗)活動である。こうした観点から、表1のDasgupta-Healモデル、Forster(1977)モデル、Long(1977)モデルの統合を試みたのがKitabatakeモデル(1988)である。モデルの定式化は次のようになる：

$$\text{Max} \int_0^{\infty} Y(S, E_1) \exp(-\rho t) dt \quad (15)$$

E_1, E_2
s. t.

$$S = g(E_2) - aY(S, E_1) + J(S) \quad (16)$$

$$E_1 + E_2 = \phi \quad (17)$$

$$E_1, E_2, S \geq 0, S(0) = S_0 \quad (18)$$

ここで、 $Y(\)$ は環境資源利用活動によって得られる付加価値、 $g(\)$ は経済資源量 E_2 を投下して得られる環境資源の単位時間あたり復元量(増殖量)である。環境資源ストックをスカラー量であらわすのは困難であるので、ここでの例示はあくまでも理想的なものにならざるをえない。環境資源ストックを利水のための水がめとすると、 $aY(S, E_1)$ は利水にともなって生じる汚濁負荷(a は付加価値あたり原単位)、 $g(E_2)$ は汚濁負荷の処理量、それゆえ $g(E_2) - aY(E_1, S)$ が湖への流入負荷となる。 $aY(\)$ が取水量、 $g(\)$ が導水量という風にも解釈しうる。漁業利用の場合の環境資源ストックは漁業資源であり、 $aY(\)$ は漁獲量(それゆえ a は魚価の逆数、なぜなら魚価 $(1/a)$ に漁獲量 $(aY(\))$ をかけたものが付加価値と解釈しうる)、 $g(\)$ は移植放流や人工放流による増殖量となる。このように湖環境をどういう視点で利用するかによって、関数やパラメータの解釈が異なってくる。くわしい議

論は省略して、このモデルからの結論を2つ紹介する：1) パラメータ a の値が大きいほど、環境資源ストックの最適利用水準は低い；2) 環境資源復元関数が経済資源量 E_2 の線形関数ないし、凹関数の場合は最適利用水準への収束経路は存在しうるが、凸関数のときは収束経路の存在は保証されない。表2は北畠（1986）よりの引用であるが、表中の B/A ないし C/A がモデルパラメータ a に対応している。すなわち推定付加価値あたり流入汚濁負荷量ないし削減目標量の大きいのが養殖業、順に畜産、農業、工場となっている。浄化対策への協力意識を調査した横田（1984）をみても、この順に協力意識が高まる傾向にある。それゆえ、浄化対策への協力意識の低い利用者への保全水準は、利用活動の特性を反映して、低いというのが1)の含意である。土地における地代の決定についての都市経済学的説明は付け値理論にもとづいている。すなわち、その土地の利用にたいして支払ってもよいとすると各人の最大額が付け値であり、最も大きい付け値をつけた利用者にその土地の利用権が帰属する。ただし、土地の場合は所有権が明記しやすいので、最も高い値（上記のモデルでは環境資源利用のスポット価格 ψ に対応）をつけた人に利用権が帰属するが、湖環境資源の場合は所有権が明確でなく、個々の機能ごとに細切れに指定されているので、結果として最も安い値をつけた人の保全水準にひきずられやすいという難点がある。いずれにしても、環境資源ストックの保全水準が利用者によって変わり得ることを認識する必要がある。

表 2 推定付加価値あたり流入汚濁負荷量、削減目標量

	活動水準 付加価値（億円）（A）	工場	農業	畜産	養殖
		8,015億円 3,773.4	999km ² 719.8	37.7万頭 382.2	8,400トン 23.5
流入汚濁負荷量	T-N (t/日) (B)	0.60	2.76	1.50	1.49
	T-P (t/日) (C)	0.33	0.10	0.08	0.27
	B/A (×10,000)	1.6	38.3	39.2	634.0
	C/A (×100,000)	8.8	13.9	20.9	1,148.9
削減目標量	T-N (t/日) (B)	0.25	0.96	0.66	0.91
	T-P (t/日) (C)	0.27	0.03	0.06	0.11
	B/A (×100,000)	6.6	133.4	172.7	3,872.3
	C/A (×100,000)	7.2	4.2	15.7	468.1

・昭和56年茨城県統計年鑑、茨城農林水産統計年報（昭和56-57年）、および霞ヶ浦富栄養化防止条例関係例規集（茨城県環境局）に基づいて算定。

出典：北畠（1986）

第2の結論の意味することをわかりやすくいえば次のようになる。一般的に、環境復元活動に資金を投下しようという気になるのは、環境資源ストックの減耗がはげしくなってきた時であろう。こういう時になってはじめて、復元費用が配分されるのであろうが、復元関数 $g(E_2)$ が凹関数とはわずかの資金でもかなりの復元効果があるということである。これに対して、凸関数の場合はかなりの資金を投下しないと復元効果が期待されないということである。この後者の

場合には、環境資源ストックの計画的保全はむずかしい、というのが2)の主旨である。この費用効果をたかめるためには、図7に例示したような環境の厚みを実態として各人が認識するとともに、各専門分野でとられたデータや知見の有機的利用をはかりつつ、前節でふれた構造方程式の推定が必要と考えられる。こうした研究の成果なしには $g(E_2)$ と $J(S)$ を統合的に扱った場合、すなわち、 $J(E_2, S)$ を用いる場合にどういった関数型になるのかイメージがつかみにくい。ある程度のイメージが得られれば、理論的には市場経済下での環境資源保全の可能性について種々の新知見が得られるものと期待される。

なお、本稿は、文部省科研費重点領域研究「人間環境系」人為起源物質の環境中の循環と制御班よりの研究費補助を受けてとりまとめたものであることを付記する。

引用文献

- Bullard, III C. W. and R. A. Herendeen(1975) "Energy impact of consumption decisions," Proceedings of the IEEE, 63(3), 484-493.
- Dakin, J. (1963) "An evaluation of "Choice" theory of planning," J. of the American Institute of Planners (JAIP), 29, 19-28.
- Dasgupta, P. and G. M. Heal(1979) Economic Theory and Exhaustible Resources, Cambridge Univ. Press
- Dasgupta, P. (1982) The Control of Resources, Basil Blackwell.
- Davidoff, P. and T. A. Reiner (1962) "A choice theory of planning," JAIP, 28, 103-115.
- Forster, B. A. (1977) "On a one state variable optimal control problem," in Application of Control Theory to Economic Analysis (J. D. Pitchford et al., Eds.), 35-56.
- 浜田篤信・津田 勉 (1976) "霞ヶ浦の富栄養化に関する研究3, 窒素収支について," 茨城県内水面水産試験場調査報告, No.13, 29-43.
- Herendeen, R. A. (1973) The Energy Cost of Goods and Services, ORNL-NSF-EP-58
- 池田三郎 (1984) "環境管理と経済生態系モデル," 環境研究, No.51, 83-99.
- Ikeda, S. (1987) "Economic-ecological models in regional total systems," in L. C. Braat and W. F. J. van Lierop (Eds.), Economic-Ecological Modeling, p185-203, North-Holland.
- Isard, W. et al. (1972) Ecologic-Economic Analysis for Regional Development, Free Press.
- 加瀬林成夫・中野 勇 (1961) "霞ヶ浦におけるワカサギの漁業生物学的研究6," 茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所調査研究報告, No.6
- 春日清一 (1981) "霞ヶ浦の富栄養化と動物たち," 環境情報科学, 10(4), 69-75.
- 北島佳房 (1986) "水資源管理にはたす汚濁賦課金の役割," 公害研究, 15(3), 28-35.
- Kitabatake, Y. (1987) "Backward incidence of environmental policy in the two sector

- model with production externality," Discussion Paper No.356, Institute of Socio-Econ. Plann., Univ. of Tsukuba.
- Kitabatake, Y. (1988) "Optimal exploitation and enhancement of environmental resources," Discussion Paper No.347, Institute of Socio-Econ. Plann., Univ. of Tskuba (to be published in Journal of Environmental Economics and Management).
- Leontief, W. (1970) "Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach," Review of Economics and Statistics, Aug.
- Long, N. V. (1977) "Optimal exploitation and replenishment of a natural resource," in Application of Control Theory to Economic Analysis (J. D. Pitchford et al. Eds.), 35-56.
- 盛岡 通 (1986) 身近な環境づくりー環境家計簿と環境カルテ, 日本評論社
- 内藤正明 (1975) "総量規制と環境容量に関するシステム分析," 公害と対策, 11(6)
- 新飯田宏 (1978) 産業連関分析, 東洋経済新報社
- 大来佐武郎監修 (1987) 地球の未来を守るために, 福武書店
- Pearce, D. W. (1976) Environmental Economics, Longman.
- 林野庁監修 (1959) 国有林野経営規定の解説, 地球出版株式会社
- 末石富太郎, 盛岡 通 (1977) "沿岸水域への環境影響の評価について," 水温の研究, 21(1), 2-11.
- 末石富太郎, 新沢秀則 (1987) "財の水集約度にもとづく水需要構造分析," 第三回水資源に関するシンポジウム
- 田瀬則雄 (1986) "アメリカの地下水問題(1)", 日本地下水学会会誌, 26, 43-52.
- Tate, D. M. (1986) "Structural change implications for industrial water use," Water Resources Research, 22(11), 1526-1530.
- 建元正弘 (1972) "環境汚染の投入・産出分析," 大阪大学経済学, 22(1), 21-45.
- 通商産業省 (1971) 公害分析用産業連関表についてー関東臨海地域における硫黄酸化物公害の分析.
- 横田正雄 (1984) 霞ヶ浦水質浄化における行政指導の実効性に関する基礎的研究, 筑波大学環境科学研究科修士論文.

7. 環境容量と環境管理

盛岡 通 (大阪大学工学部)

1. 環境容量を管理・計画のために構成する

1. 1 環境容量に要請されるもの

環境容量とは幅の広い概念である。しかし、日本の環境政策が公害対策から始まったことは、汚染物質をどれだけ自然環境が受け入れることができるかを意味することと曲解されることをまねき、計画理念なり方法論としての深みを一時失った感がする。しかし、末石^{1)・2)}に代表されるように、人間環境システムの安定的均衡を評価し、そこに誘導してゆく概念として環境容量を展開した研究も少数ながらあった。

末石は、一般の素朴な意味の自然の浄化能力を環境容量Ⅰ、これに人工的な施設を介在させることで人間活動を新たに支えることのできた能力を環境容量Ⅱと定義した。この2つは表現こそ違っても多くの技術者も表現したし、筋立ても行政計画担当者に受け入れられ得るものであった。さらに、空間的な重積的關係の上になってもその効果を割り引いた上にも支持しうる活動量に対して環境容量Ⅲを、時間的な蓄積の効果を割り引くことで、支持しうる活動量に対して環境容量Ⅳを定義した。(図1)この2つの概念は盛岡自身も共鳴するところであり、現在でもそれをさらに具体化する意識をもっているが、盛岡にとっては現実のものとなっていない。

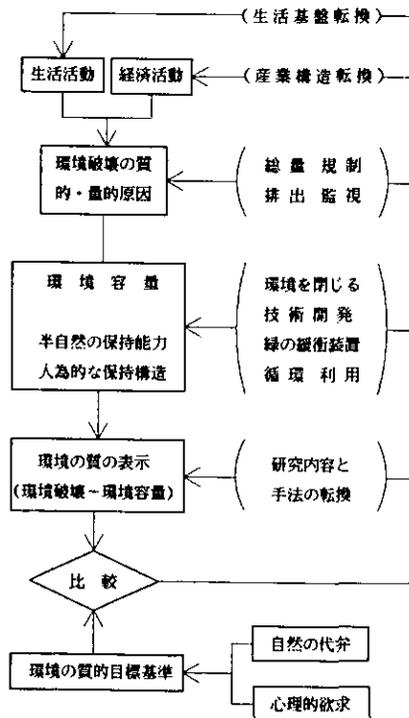


図 1 環境容量の内生化¹⁾

ふりかえてみると、水質の総量規制に際して、環境基準への適合の度合から発生源ごとに負荷削減を進める論理が要請されたのではあったが、不幸にも環境容量を実際に適用する試みは殆どなかった。当時は工場排水の実行可能な規制・指導と下水道整備というマクロな政策を導入するスキ間があったといえるだろう。

しかし、現在は再び環境容量の概念を必要とするようになった。すなわち、環境資源の質を左右する人間活動が活動それ自身のファインな度合を高めつつ、ぎりぎりのところで環境資源に相対する状況、すなわち質の一段と高い容量的制約を受けるようになってきている。たとえば、東京圏の人間活動を水質汚染の現象で見ると、昭和30年ごろの東京湾沿岸部の局所的汚染から昭和40年代の川や海の急激な汚染へと進み、これに下水道整備の進展する分だけ主要水系の水質が昭和50年代後半になって改善され、かわって大都市圏の市街化の進むエリアを中心に都市生活型公害としての水質汚染が話題をさらった。

昭和70年代はさらに都市圏周辺部の水道水源を含む湖沼及び大都市圏の最終的なインパクトの受け皿である東京湾の汚染が焦点になるものと予想している。この時代の汚染は往時の有機性汚染（溶存酸素の低下に代表される）ではなく、水道水源の異臭味や海辺のレクリ活動への支障が問われるだろう。水域の環境保全目標も多様化し、それを支えるための管理の断面も指標も多様化する。このことは当然のことながら、管理の断面をつなぎ、指標の相互関係を示すモデルも画一・単純から多様化に向かう。それだけに環境容量の概念を広くとらえる姿勢が望まれる。そしてこの環境管理とは水系一貫とした管理であったり、都市圏の人、物、お金、情報の流通を視野においた広域圏の環境管理となるに違いない。

1. 2 環境容量による解釈から計画づくりへ

環境容量は必ずしも定量的である必要はない。概念的であっても定性的であってもよいが、必要なのは支持する活動に限界が存在していることを説得する論理性である。さらに計画論として欠かせないのは活動の主体に対してその限界を事前に認知させ、活動の立地の変更や活動それ自体を質的に高度化することによって限界を止揚させる誘導的仕組みを備えていることである。表現を変えると、情報提供によって地域の活動に将来の制約条件があることを知らせる環境システム、及び活動の選択可能性を示すことで環境保全への誘導をはかる環境保全ガイドプランと併存することで環境容量は有効な道具として機能する。

環境容量は評価法であると理解されてきた。計画—実行—評価のサイクルからすれば、確かに評価に重点があることは異論のないところである。しかし、評価は常に計画にフィード・バックすることを前提になされている。このことからすれば、計画案を修正したり、別の代替案を構想するのを支援する機能が環境容量に付随していることが望ましい。このことは計画論の発展からみるとたいへん難しい用件ではある。線形計画から多目的評価へ、決定論的思考から不確実性評価へ、単独主体から多主体の合意形成論へ、事前シナリオ・フレーム型から適応型・参加型計画論へと大きな進展があったものの、計画にとっての制約条件との対話はそれほど多様なもの

ではなかったからである。だから、ここで環境容量を改めて環境のマネージメントに実際に用いるとしても、十分に計画論的領域に踏み込みうるかどうか、その技術的完成度の見通しが得られている訳ではない。このような状況と問題意識のもとで、以下に環境容量の理念と道具について述べてみよう。

2. 環境容量の理念と道具

2. 1 環境容量の理念を操作可能領域にまでブレイク・ダウンすること

環境容量とは人間環境システムにおいて環境と共存しうる安定性の高い持続的発展をなすに必要な環境の側の条件を様式化したものである。この定義には3つの重要な概念が含まれている。第一には、環境は人間にとって望みを与えてくれるとともに不適切な働きかけの反作用として人間に害を及ぼすという相互作用を示す人間環境システムの切口である。第二には、人間の側では時間的にも空間的にも変化する活動を安定性の高い持続的発展の枠組みの中に誘導しようという理念である。第三には、環境容量は環境の側の条件を様式化したものであって、多様な活動はすべて環境へのインパクトを記述する指標を通して環境に働きかけることになる。

第三の点からは、環境それ自身の状態をあらわす環境状態指標とは別に環境に働きかける様子を記述する環境構造変数を定義すべきことを示唆される。一般に、冷静で斉合のとれた評価とは、インパクトによる環境状態の変化に対して効用関数なり満足度によってなされる。しかし、計画論の立場では、地域の間人活動に対するモニタリング、啓示、警告、示唆、誘導、行政指導は、この流れのなかでいろいろな段階から発してもよい。むしろ、その方が事前に効果のある施策を実行することができるだろう。

人間環境システムの相互作用性は短時間のくりかえし型ではなく、むしろ、環境の質や構造が相当に劣化してしまってから気がついて行動を変化させるといった時間遅れ（比較的長い）をともなうことが多い。このことから、変化の前兆を可能な限り把握するような予知システムが望まれる。前もって予知、予測する際には、通常、環境容量で示される活動量と実際の活動量との差は大きいのが普通だから、不確実さを見通す予測の役割は極めて大きいと言える。

環境容量が設定されることに対して、活動主体の側から発展を阻害するとの誤解が少なからず存在する。それだけに、環境容量の範囲内での段階的な安定的発展の方が持続性があるという論理を表すモデルを作成せねばならない。更新性資源の持続的開発のモデル（例えば、漁業資源の各種のモデル）とは若干異なった形式となるのかも知れない。

環境容量を操作的に用いるには、人間活動のインパクトの流れをいくつかの段階に沿って分割し、段階ごとに容量制約の効果的な指示と総量から個別の割り当てをして割り当てにおさまるように誘導をはかる可能性を検討せねばなるまい。水環境を対象とする場合に限れば、このインパクトの記述に通例を見いだすことができる。以下、水環境に限定して議論を進めてゆこう。多くの活動は土地利用もしくは土地形質の変更、建築物等の構築をともなう。それにともなう何ら

かの物質（汚染物質に限定しない）が排出され、水環境の質的劣化、環境資源としての劣化の源泉をつくることになる。しかし、この物質の排出が環境資源の水準に一対一に対応しているわけではなく、流出、流達過程での自然的、社会的条件によって、同じ環境に対しても異なった負荷排出量が許容されることがある。下水道や再利用システム、広域廃棄物処理処分（汚泥など）システムなどがその中間介在プロセスであると言える。

以上のような人間環境システムの様式化は、図2に示すように、単連結型のプロセス・システム

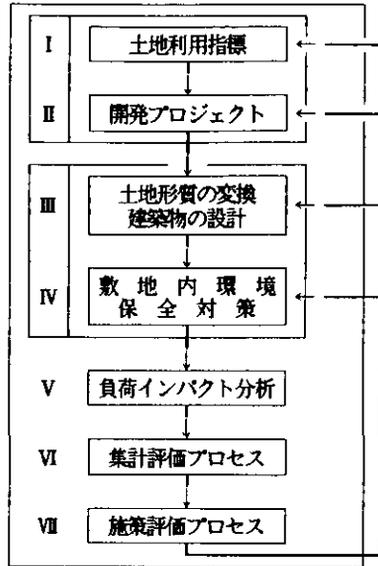


図 2 単連結型の人間環境システムの表現

ムとしての理解に達する。ここでは、容量概念が問われるようなある程度の広域スケールを前提とするので、第一段階の土地利用構想とは都市圏整備計画や行政のマスタープランを対象とする。第二段階の開発プロジェクトとしては10ha程度以上の規模の目安で取り上げるとして、空間的に小規模のものでも再開発等で負荷の集積効果が大いといみなしうるものは、空間区分ごとに和をもとめて予測・評価に組み入れることにする。第三段階の土地形質の変更、建築物の設計は生産および生活活動の器の設計である。この時点で活動量が決定される。第四段階の内部の環境保全対策とは污水处理施設や敷地内緑化を意味し、第三段階の活動量を自然環境もしくは公共的な環境資源になじませるための媒介的・中間施設であると言える。以上のうち、第四段階はそれ自体の施設標準やガイドラインとして計画論的に編集することもできるが、実際の設計行為においては第三段階とひとまとめに検討されるのが特徴である。

以上に続く段階は、個別活動主体のもたらす負荷のインパクトを分割して分析し、いくつかの評価技法により集計評価するプロセス、及び評価結果に基づいて上記の上流の段階にフィード・バックをかけるプロセスからなる。インパクトの分析は、空間に特有の概念を協調するのか、そ

れともインパクトの単位による収支やダイナミックな伝播を協調するかにより異なる。前者では例えば、水源涵養特性を持つ森林が水道水源の上流に賦存していて、同量の土地利用変更をする必要がある場合でも、その土地形質変更は適性度のランクが他よりも劣るという形で分析・評価のストーリーが組み立てられる。他方、インパクトの単位による収支では、集水域のネットワーク上で合流する流出、伝達サブモデルが合成され、インパクトの大きさは負荷のマグニチュードとこのサブモデル上の分解・除去や再生産の特性によって変化する。ここでは数学モデルによる分析が有効である。

人間活動と環境との関係は時空間の各々に多様であるから、活動種類と環境資源の各々の指標について集計する骨組みを作成する必要がある。とりわけ、環境資源の望ましい像に対する接近の度合や環境資源のサービス水準などは心理的な満足度で測りながら、市民意識の動向を定性的に組み入れるといったマクロな取り組みになるのだろう。物量ベースでの評価アプローチと満足度（あるいは選好）基準での評価アプローチとの間に多くの集計・評価のサブ・システムを導入、開発できる。この点については次に述べよう。

過去の容量評価に基づく政策形成プロセスは、実際のところ、科学的検討に値するかどうか疑問視する向きもないことはない。しかし、内湾や湖沼の富栄養化に対する総量規制や、水質管理計画は、熱度とはもかくとしても、政策形成を目指したものであった。一般的には環境資源の動特性の解明と負荷削減戦略との間には、水陸境界を挟んでの負荷量のやり取りという細かい糸しかないのが実態ではあったが、水域から陸域に情報伝達された「削減負荷量」は、空間的には公平性、異種発生源間では実行可能性を基準として割り付け配分がなされた。

この割り付け配分について、論理性を高める努力が必要なことは言うまでもない。二次元的環境資源に対して負荷応答行列を作成して、空間分布した発生源に自然環境の空間特性を考慮した許容負荷の割り当てを実行したのも一例である。いますこし、社会的受容に近い部分では、汚染の既得権を擁護しないためにも市町村レベルでは（負荷量／付加価値）の平準化や許容負荷量通減（規模に対し）一つの判断基準に導入することも概念的には検討されてきた。ここに投入産出型や地域経済成長型の社会経済モデルを入れて国民経済の評価まであげてしまうアプローチもありえる。これらについては後にもう少し詳しく検討することにしよう。

政策化された行動量を地域空間に割り付ける試みは、水という環境資源の構造を単純化することで、例えば水源涵養保全機能の要請される森林の量と配置、洪水流出を緩和する水田等農地の量と配置、市民の親水レクリエーションの満足度を前提として親水型水辺の量と配置、といった形で実行されることもありうる。このうち、最後のタイプでは空間特定の原理が、（環境資源サービスの量）×（環境資源サービスの質）×（アクセシビリティ）、の積和のなかの市民の欲求の志向なり行動の多様性に立脚しているだけに、裏づけとしての分析・評価・政策化の論理の流れが細くなることに対応して、中間集約が必要となってくるだろう。いずれにせよ、環境資源の多様なサービスを達成するための容量概念であり、環境保全型行動を地域に割り付けてマネー

ジしてゆくという基本姿勢を貫くことが大切である。

2. 2 環境容量を道具として

環境容量を環境管理の道具として用いるとすると、前節に述べた環境容量の概念をより具体的な手順にまで明示しなければならない。できるだけ概念は広く、しかし道具としては見通しのよい操作が容易な構成とするのが必要である。この点からは、過去に実績のあるインパクト単位集計型で汚染負荷削減をおこなう例からまずは取り上げてゆこう。

環境資源としての水域に対して望ましい環境像は様々に描き得るが、水環境を利用したい（そのサービスを楽しみたい）という要求を充足することを計画のなかで目標化しようとするれば、図3に示すように二つのタイプの目標と手段との関係が記述される。環境資源のサービス特性を目標として環境資源の状態等を手段として記述する環境開発・整備計画がその一つである。他の一つが以下でおもに取り上げる環境資源の状態を目標として各種の活動を指導・規制・誘導する手段を組み合わせた環境管理計画である。ただし、重要なことは、後者においても、新たなサービス特性の評価が重視されれば環境状態にも新たな指標や尺度を導入すべきであろうということである。

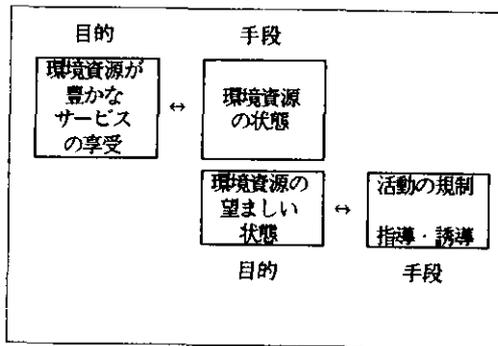


図 3 環境計画の二つの目的・手段関係

環境管理計画をさらに水質管理計画にまで限定すれば、前節で示した汚濁負荷の伝達型のプロセス・システムが描かれ、システム変数をもとに数式モデルがつくられ、分析の道具としての環境容量が具体化される。最も簡単なシステム表現を取り上げてみよう。

地域の活動Yから汚濁負荷Uが発生するとともに、地域の福祉への寄与としてZが生じるとき、この汚濁負荷Uが中間的施設の働きによってU*に変換されて自然環境の状態Xと関係づけられているとすれば、次のように表現することができる。

$$X = H(U^*) = H(G(U)) = H(G(F(Y))) \quad \text{--- ①}$$

$$Z = W(Y, U, (U^* - U)) \quad \text{--- ②}$$

$$X \leq X_{al} \quad \text{--- ③}$$

ここに式①はインパクトの因果連鎖をベクトル表現したものであり、式②は地域の福祉を地域の

活動の規模のみならず、負荷発生と中間施設（下水道施設など）の働きの関数として表現したものである。式③は環境資源の望ましい状態を達成することを制約条件として導入したものである。

このような定式化は、環境基準を満足し（式③）、そのうちで汚濁負荷除去に要する費用を最小化（式②）する形で最も早い時期に導入された。この場合、活動Yは集水域ごとの人口である場合も、出荷額などの産業活動である場合も基本的には同じである。やや複雑なのは、式①の中のF（Y）と式②のYに関する式の表現の部分とが連関する形の経済モデルを組み立てた場合であり、環境保全活動を経済発展の要素として組み入れたことに相当する。変換を担う関数群のうちで、Fは社会経済的、技術的であり、Gは技術的、Hは自然科学的、工学的な色彩が強い。Xを制約条件としてではなく、むしろXの値で定まる効用（不効用も可能）を目的の一つとしてとらえることも可能であり、それは中間項としての容量を経て経済循環が生じることを重視している。たとえば、閉鎖性水域の富栄養化管理を対象とした経済・生態系モデル³⁾では持続的資源管理を視野におさめている。また、汚濁負荷を受け入れる環境の容量と限界費用・便益関数とを関連づけた経済的試み⁴⁾も容量の低下が最適生産量の低下をまねくことを示している。

自然科学の対象としてみれば関数Hそれ自体を解明することは容易ではないとされるが、工学的には非線形現象を取り扱いやすい関数で表現することで操作性を高めてきた。例えば、湖沼や海域の富栄養化現象についても現況再現シミュレーションののちに、一次近似をして単位負荷の効果マトリックスを算出し、そのマトリックスの逆算によって地域活動（汚濁負荷の発生）を誘導してゆくことが可能となっている。

3. 環境容量型・環境管理の構想

3. 1 環境管理の枠組み

環境管理の要請される環境資源には多くの種類があるが、過去の行政施策の歴史的推移から公害対策及び自然保護に偏して手当されてきた。昨今の快適環境づくりは、基盤整備やこれらの基礎的分野と密接な関係を持つように注意深く展開されてはきたが、実態としてはこの3者の間にはまだ大きなスキ間があって講じるべき多くの施策の対象が広く横たわっている。

生活を支える環境資源のサービス特性を広くとらえると、図4のように、快適性のような情緒性・心理的な性格のつよい要素を上位にして、中位に生活環境の質、下位に公害に典型的にみられる健康への影響を入れることもできる。これに環境の安全性なりリスク要因をかなり社会基盤的性格の強い要素として下位に加えさらに、現行の貴重な自然からのアプローチから自然保護を人間以外の生物も存在するという生態学的基盤として見立てることができる。身近な環境づくりの対象としてのごく普通の都市の自然環境をマネージしてゆく試みは、本来、快適環境づくりに先行して行われるべきではあったが、その難しさ故にようやく最近に至って展開されている。

市民の環境に対するニーズからみれば、歴史的・文化的環境を保全・活用することも大きな施策課題である。文化財保護は、その重要性を国及び地域レベルで判定することで進められており、

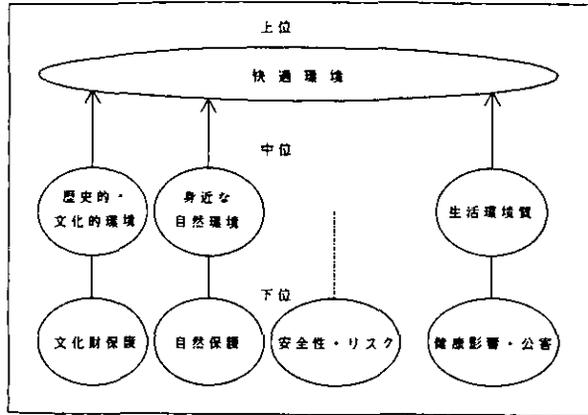


図 4 環境資源のサービス特性

その点では文化財の位置する環境空間を整えてゆく試みは、文化的な社会基盤整備につながる可能性を秘めている。このことを歴史的文化的環境として環境の持つべき要件として取り上げてゆくのは中位に相当するだろう。

他方、このような分野別なり環境資源のサービス分野を分割することで環境管理を構想してゆくと異なり、資源サービスの過程で現象として現れる中間項としての物質循環に注目する見方がある。すなわち、物質循環の健全さはそれ自身としては市民のニーズとして表出する性格ではないが、市民への環境資源サービスを支えるための基礎的要件であり、都市の物質循環それ自体も社会基盤の支持容量的機能を評価する事象であると言える。

自然環境、生活環境を軸にしながらも、快適な環境を視野にいれて、環境を評価、診断し、環境改善の効果を予測するために環境を測り取るためのものさしとして指標が提案されてきた。何らかの意味で社会的（人間のかかわりからみた）評価をした場合に指標と呼び、他方で物的要素を情報処理しただけの場合には指数と呼んで区分している⁵⁾。この環境指標の体系の中に物質環境をも含め、そのエコロジー的な性格を共通項にしなが、都市なり地域の健全性、調和的發展への駆動力を評価しようとする試みもなされている。

伝統的な指標概念で言えば、市民なり地域の環境に対する満足度（効用） V を環境の状態を示す指標 X で表現するとき、

$$V = f(X) = \sum_i a_i \cdot f_i(x_i, j) \quad \text{④}$$

の形の線形モデルが多く用いられた。もちろん多属性効用関数による表現では効用逓減・飽和効果や初期増加効果も的確にあらわしうるものであるが、その差異は集計技法の精緻さのレベルのそれにとどまる。

例えば、川崎市の環境管理計画では、大気さわやかさを「星座の見える割合」と言った観察指標であらわすことを試み、従来の NO_x 濃度のような物的指標から大気さわやかさの満足度

を説明するのと並行する環境評価システムを開発している。このような観察型環境指標は、市民参加を促す点で大きな意義があるが、同時に観察を通しての認知領域（アクセスや環境実態など）での環境評価の総合化の面でも意味がある。例えば、清らかな水辺と親しむ面でのこち良さは、「濁りが少ない」「水際線が開放されている」、「自然度の高い堤、土手や岸辺である」などの観察の結果に基づいて評価されている。概念的な式で表現すると、観察指標 $y_{i,j}$ についての線形和で心地良さを表現している。

$$V = \sum_i b_i \cdot y_{i,j} \quad \text{— ⑤}$$

ここでは、市民の主観的なこち良さの感じ取り方を自らの観察値によって裏付けることで、環境へのより高度なニーズを発掘、鼓舞する効果がある。そのことが長い目でみて、水辺の建築活動や土地利用活動を適正化する方向に働くと見通しているようである。逆に言えば、地区内の水辺のこち良さのレベルの評価を上げるためには、濁りがどの程度少なくかつ水際線をどの程度さらに開放してゆけばよいのかを半定量的に知ることができる。

もちろん、従来と同じく、都市の水辺の物理的、客観的データによって水辺の環境の満足度を表現することもできる。汚染関連指数と土地利用関連指数の両者を変数としてベースにしていることから、もし、それらの変数相互にある制約条件があることを表現すれば、満足度を大きくするための施策の選択において、ある種の容量概念を導入することも可能となる。すなわち、特定の満足度 V^* は市民の選好の高さから必ず満たすこととし、また、環境資源の競合的利用からみてもある制約 X^{**} をあてはめると、心地良さ V を高めるための施策は次の式で選ばれることになる。

$$\max V = \sum_i a_i \cdot x_{i,j} \quad \text{— ⑥}$$

$$V^* = \sum_i a_i x_{i,j} \geq V^* \quad \text{— ⑦}$$

$$f(X^{**}) = f(x_1^{**}, \dots, x_n^{**}) \geq 0 \quad \text{— ⑧}$$

これらの式のうちには、自然的な環境特性の条件、技術的な条件、選好上の条件などを区別することができる。これらの式を観察指標の変数 y について部分的に置き換えることも可能であり、その時には、 X と Y との関係は陽的、陰的に表現されていることになる。これらの制約条件のうち、いくつかは環境容量型のそれとして理解することができるであろう。

環境管理のアプローチは、環境指標の導入により体系化の動機づけがなされたと言える。なぜなら、それは多目的、多変数のフレームをあてはめてみることで評価や施策に何が欠けているのかを浮きぼりにしたからである。これまで、環境管理としてはいくつかの戦略的アプローチが実施されてきたが、そのうち、環境指標、土地利用適性評価、（土地適性評価、LSAと称されることも多く、名称はやや混乱している）さらに他の情報をも加えた環境情報システムは互いに関連するところが多い。環境指標が包括的なものさして満足度のフェイズまでかけ上がったのに比較すると、土地適性評価は人間活動の土台である土地そのものに目を向けた。すなわち、土地特性の分級化とスコアリング的評価、及び情報の空間的重ね合わせという具体的技法により支えられることになった。それは主として土地形質、植生・生態について対象としており、評価視点は

安全性やエコロジー的安定性におかれることが多かったと言える。

地域の環境管理を進めるにあたり、現在の時点で道具の整いつつある対象事象ごとのアプローチを概観したものが表1である。ここで、環境質とは公害事象や生活環境としての環境の把握を意味し、健康や生活に悪い影響を与えないように濃度概念を用いて環境状態と排出に対して基準を設定し、規制してゆく伝統的アプローチである。これに対して、土地形質や生態系を対象に土地適性分析を行ったアプローチでは安定性や安全性を視点として環境資源を評価し、開発者や地域活動主体に事前に情報を提示したり、アセスメントに活用してきた。快適環境づくりには景観や身近な自然など幅広い対象を含み、それらを把握する手法として決まったものはないが、理念的には従来の環境指標によりもっとアクセシビリティや地域個性の評価が重視されるであろう。そして付け刃的な快適環境づくりから、開発時に環境と調和する共生型開発へと誘導される。

表 1 広域的な環境管理への道具からみたアプローチ

分析				政策	
対象事象	手法	評価視点	評価断面と集計		規制 ← → 誘導
環境質	ppm	健康、生活	環境基準	地域比較 → 満足度と政策費用	規制対応 ○ ○ ○
物質循環	環境容量	容量	容量基準		
生活環境	生活環境指標	満足、効用	環境資源特性	環境資源特性	望ましい環境像 ○ ○ ○
土地形質・生態	LAS	安定、安全	環境資源特性		
自然・生態	緑の国勢調査	賦存、貴重	環境資源特性		
快適環境	アメニティマップ	アクセス 優位性	環境資源特性	個性	調和型開発 ○ ○ ○

(国立公衆研 内藤部長からの御教示による)

ここで、物質循環を対象とした容量基準が環境容量としての中心を占めることは言うまでもない。環境管理計画での実績からみれば、広域の大気質及び水質について総量規制がなされていることが注目される。それらについては多くの報告があり、ここでは特に論じない。「汚染レベルが地域内のいかなる点でも基準値をこえないとしたときの、各排出源の排出許容量を総計したもの」の概念⁹⁾を基本にしなが、それを越える実践はなされていないようである。事例では、大気質については点源や線源の効果の仮想的な重ね合わせであり、水質においても影響の及ばないところで境界条件が設定されていて、いずれも出口側のフラックスが操作変数化されていない。活動と対象の影響が広域化すればするほど、この出口側のフラックスが重なりあって制約がタイトになることに注意を払わねばならない。

さらに、容量型の技法は土地利用や植生についても適用されている。例えば宮城県環境管理計画におけるグリーン・コンタクトを中心にした総量的指標は、容量という言葉を用いて、望ましい緑の量と開発前の緑の指標の値を下回ることのないように指標・誘導をはかろうとしたものであった。もちろん、今日的にみれば、その指標項目の構成やスコアリングに改めるべき点がないとは言えないものの、アセスメントの道具としては大いに期待された。このような緑の容量は、緑のもつ自然浄化機能や保水機能などの物質循環を定量的に解釈したものではなく、むしろ、

緑のもつ多様な機能に対して評価関数を当てはめ、その集計評価値を地域環境のもつ緑の面からみた支持容量として定式化したものであると言える。

このような土地の生態的な評価を他の土地形質にまで広げて土地適性を分析した場合を見ると、必ずしも容量概念は明示的ではない。しかし、例えば、滋賀県の地域環境計画（湖国環境プラン）では、水源涵養機能をもつ地区を「水源涵養保安林の指定地を含むメッシュ」に限定せず、事前に水源涵養保安林の指定を支える土地形質・土地特性を分析することによってその周りににじみだす「水源涵養貢献度が高いと考えられるメッシュ」をも土地容量の制約として表現している。土地適性の指標の尺度づけだと言えればそれまでだが、多義性を本質的にもつ土地情報の場合にはその部分の整理は今まで不十分だったようである。この指標、尺度を体系的に組み上げてゆけば、環境指標のアプローチと重なり合うところが大きくなる。

同じ湖国環境プランでは、土地形質を示す自然環境総合特性地図（Ⅰ）、生態系を示す自然環境総合特性地図（Ⅱ）、のほかに、水環境の総合特性地図を取り上げ、上記の2つのカテゴリーの他に、「水道水源を含むメッシュ」、「漁業権設定区域を含む」、「CODの推定負荷量が20 kg/日/㎥以上の河川流域に属するメッシュ」、「環境基準型がA Aの河川流域に属するメッシュ」、「流域内での山林面積が30%未満のメッシュ」、「内湖流域に属するメッシュ」、「ため池を含むメッシュ」などが表示されている。これらの指標については特に配慮の必要な地域類型Ⅰを区分しており（逆にいえば類型Ⅱへとにじみだした）、地図には優先順位をつけた4つまでの指標の情報を同時に掲載している。地域の活動主体は、この情報をもとに立地選定、活動の増大の是非をよりの確に判断することができると期待される。

このような土地容量の制約は、ある地域での活動量を各々のメッシュに配分して、環境へのインパクトを最小にする代替案の選択としてモデル化することもできる。なぜなら、地図の重ね合わせを加法性原理からは大きく外れない（専門家の評価においてもおおむね妥当）とすれば、地図情報処理は代数計算に置き換えることができるからである。ここでの指標Xは二次元メッシュ（i, j）についてカテゴリカルな変数（1, ~, k）として与えられており、それに対応した環境の価値V（i, j）をもつ。二次元マトリックス上でYをゼロもしくは1の組合せとして与えると、土地開発の必要量（m）の制約に対して、逸失環境価値V（i, j）をできるだけ小さくするような立地の解を示すことが可能になる。すなわち、

$$\sum y_{i,j} \geq m \quad \text{--- ⑨}$$

$$\min. \sum_{i,j,k} (V(i,j,k)) \quad \text{--- ⑩}$$

である。このような制約は序列的なもの（最小化原理）として導入されており、もしより強い制約として導入するとすれば、たとえば

$$y_{i,j} < y^*_{i,j} \quad \text{--- ⑪}$$

の形で、 $\sum V(i, j)$ の大きい要素に対して、マトリックス中に開発のシグナル1を除く操作をすればよい。

以上の手続きは、環境容量の技法、環境指標の技法、土地適性評価の技法に共通性があることを示したものである。環境管理の具体的な課題ごとに、これらの特徴をいかして使い分けることが望ましいことは言うまでもない。

4. 水環境管理のための環境容量 —— ケース・スタディとして

4. 1 水道水源保全の面からみた流域環境管理 —— 淀川中流部の下水処理の優先度

水道水源保全のためには、前章で述べたことに関連して土地管理がきわめて重要であることは言うまでもない。とくに非点源負荷に対しては土地利用を環境保全型に維持、誘導してゆくことが欠かせない。このことは水源地域の環境管理もしくは流域管理の理念と方法のなかに一括されるものであり、その概念構成についてはすでに発表してきたところである。

近年の水道水源管理に関しては、とくに都市圏において、水質改善をはかる下水道の放流水がその下流に位置する上水道の浄水場の水源水質に与える悪影響について一つの焦点があるように見える。そこで、淀川中流域における下水道の整備が下流に与える効果について評価することを通じて、環境容量の制約の仕方を左右する中間的装置（下水道であり、末石の環境容量Ⅱに対応）の役割を論じてみる。ただし、ケース・スタディであり、前章までの包括的議論とは一致しないところが多い。

以前には、各集水域の人口を変数として、流下距離が長いほど自浄作用が効果的に及ぶことや、ある程度の人口のまとまりがあれば下水処理費用を低減することができることに立脚して、線形計画モデルを組みあげることがなされた。その後、費用関数を精緻化することを含めて目的関数を修正したり、出荷額などを変数に組み入れたり、さらに、下水道整備の時系列的効果を的確に評価するために動的計画法モデルを採用した事例もみられた。

これらの場合には、環境基準点での水質を満足させることが制約であり、その範囲内で許容汚濁負荷量の割りあてや人口などの活動量の割りあてを実行してきた。しかし、河川の水質は水量に支配されるし、環境基準は75%非超過値を採用しているのに、流量を平水量であらわして代表させるなど平均化によるズレが予測、評価モデルのなかに含まれるのではないかと推定された。

ひとつの解決法は、水道取水量の年間のトータルに対応する総負荷量をフラックスとしてこれに容量的制約を乗せることであった。物質循環の理念や飲料水のリスク評価には馴じむアプローチである。しかし、これを現実に移すには、汚濁負荷発生過程と浄水過程についても時間変動をとりこまねばならず、データの入手にも無理があった。そこで、次のように問題を置き換えて分析してみることにした。すなわち、「三つの合流支流の流量には確率特性があり、その流量条件での水道水源の水質が環境基準値を超過しない累積頻度はある判定値（例えば、75%）より小さくない」として容量表現した。

図5に示すように、下流の磯島と柴島の浄水場で対象とする3つの河川（ $j = 1, 2, 3$ ）の集水域からの負荷量を $L(j)$ （将来値を $L(j) + \Delta L(j)$ ）、その上流域からの負荷量を

$Lu(j)$ 、下水処理による除去量を $R(j)$ （将来値を $R(j) + \Delta R(j)$ ）とすれば、次のような確率制約条件と下水処理普及上の前提条件が表現できる。

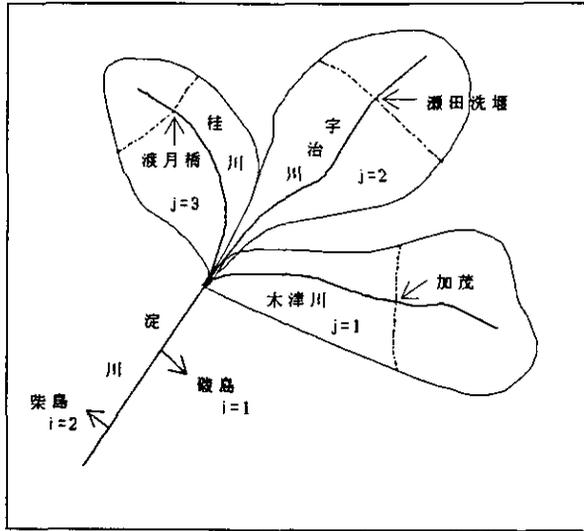


図 5 淀川中流部の集水域概略図

$$P_i \left\{ \sum_{j=1}^3 (a(i, j)/Q(j) \cdot R(j) \cdot (Lu(j) + L(j) + \Delta L(j) - R(j) - \Delta R(j)) \leq b_i \right\} \geq P_i \quad (i=1, 2) \quad \text{--- ⑫}$$

$$0 \leq \Delta R(j) \leq L(j) + \Delta L(j) - R(j) \quad (j=1, 2, 3) \quad \text{--- ⑬}$$

ここに、 $Q(j)$ 、 $a(i, j)$ は、過去5年間の日平均流量データをクラスター分析によって50のグループに分けたときの流量とそれに対応する混合率であり、後者は累積流量モデルを用いて、横方向の拡散と流下方向の移流を対象に水質シミュレーションをおこなって得たものである。

目的関数は単純であり、下水道の建設および維持管理費用を最小とするもので、次の通りである。

$$\min Z = \sum_{j=1}^3 (0.3180 \cdot (\Delta R(j))^{0.7175} + 0.2088 \cdot (\Delta R(j))^{0.7093}) \quad \text{--- ⑭}$$

ここで、水質制約条件が環境基準値で流量条件が平水量の場合を第一段階として解いてみた。環境基準値を変化させて、解の感度解析を実施し、制約条件の及び方を知った上で確率問題に臨んだ。なお、第一段階では非線形計画の解除として線形化近似計画（シンプレックス法）を用いる。ついで確率問題に対してはコンプレックス法を用いて実行可能解の集合体の重心をより適した解として逐次解としてもとめた。

結果の詳細は別に報告するが、磯島と柴島でBOD値3ppmについて75%非超過を条件としたときから、磯島について90%非超過へと条件を厳しくすると、桂川（下）流域の下水道処理を促進するかわりに宇治川（下）流域の下水道処理を優先した方が有利であるとの結果を得ている。

4. 2 富栄養化制御の面からみた流域環境管理の構想－神戸港海域の水質管理のフレーム

広域管理の要請される例として、神戸港海域の水質保全をとりあげる。神戸市域の下水道整備率は95%を越え、工場排水などの点源負荷の規制もそれなりの効果をあげているにもかかわらず、夏季には赤潮が発生しており、今後も予想される海面埋立事業の効果もあって、水質管理にはとくに注意をはらわねばならない水域である。大阪湾最奥部からの汚濁負荷や栄養塩類が潮流や拡散の作用によってこの海域に運搬され、プランクトンによる再生産をまねいていることは過去にも指摘されてきた。

このような水域の環境管理においては、まずは有機汚濁物質および栄養塩類の空間的挙動について説得力のあるモデルを作成し、そのモデルの現況再現をみた上で、各種の施策による負荷削減の効果を具体的に示すことで協調的な施策実行の体制がとりうると言えるだろう。この視点から、現在、神戸市環境局と協力して、神戸港海域水質管理システムの作成にあたっている。このシステムは図6に示すように環境情報サブシステム、陸域環境管理サブシステム、海域環境管理サブシステム、施策検討サブシステムからなり、全体としてはパーソナル・コンピュータ（もしくはワーク・ステーション）を道具として行政担当者が直接にモデルを運用して、施策の効果を検討しうることをねらっている。

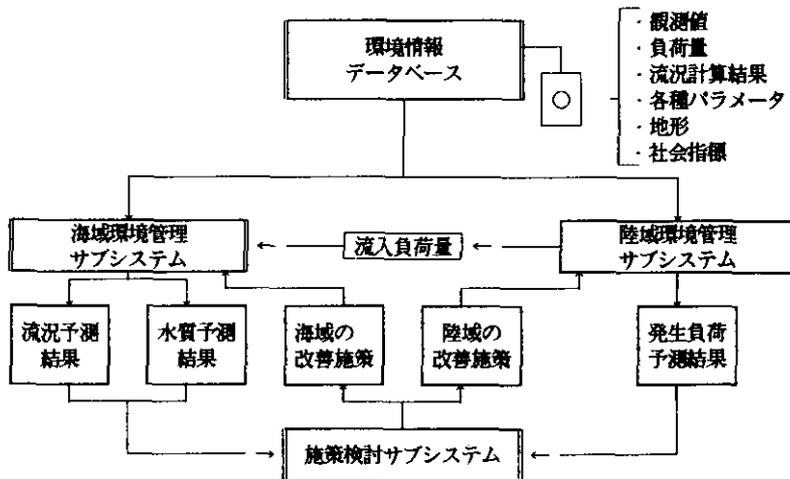


図 6 神戸港海域水質管理システムの概要

まず、神戸港海域水質管理システムの理念的目標を箇条書にすると次のとおりである。

- ① 事業アセスではなく、水質改善の個々の施策の効果の評価、
- ② 快適な水辺環境、豊かな青い海にふさわしい目標像を描くことを、その達成可能性を評価しながらすすめること、
- ③ 水質改善施策のプライオリティの設定、
- ④ 神戸市環境局、神戸市の他の部局、神戸市以外の関係自治体の環境部局および環境部局以外

の間での施策効果と施策の協調推進への機運の形成、

- ⑤ 海域の水質管理をパイロットにして水環境管理モデルの検討の一助にする。

以上を受けて、水質管理システムによる海域水質の再現の技術的標的をまとめると次のとおりである。

- ① 水質管理システムおよびモデルによって再現される海域水質は、市民の感性的評価にもなじませるインターフェイスとつながること、
 - ② 行政制度上で定められている環境の基準等への照合が容易にできること、
 - ③ 神戸港海域水質の汚濁機構からみて栄養塩類の制御効果が判断できるような水質指標で表現されること、
 - ④ 夏期のプランクトンによる再生産による汚濁の進行に焦点をあてその水質を決定する環境容量間の境界条件を的確に表現しうる変数が含まれていること、
 - ⑤ 類似度の高い水塊がまとめられて、かつ、水質観測の密度にみあった分割がなされて水質が表現されていること、
 - ⑥ パーソナル・コンピュータという道具に課せられた制約のもとでも上記の内容が確保されると同時に、道具の性能が向上したときの対応の見通しが得られること。
- このことから、神戸港海域水質管理システムの技術的目標は次のとおりとなる。

- ① 複数の開発の状況下で複数の水質改善施策の効果を定量的に予測、計量、評価するモデルを開発する、
- ② 状況設定、代替案評価を環境のスタッフが会話型で行えることを前提とするシステム構成、
- ③ 定量的な予測、計量を可能にするためのバランスのよい数学モデルを採用する、
- ④ 他部局のスタッフなどへの情報提示のために、表現・表示のわかりやすさと内容の概要の見えやすさをそなえる、
- ⑤ システムの改良が容易に行えるように全体システムとサブシステムの関係が明示され、後者が置き換え可能であること。

以上のフレームの中で、環境容量の概念を実際の道具として利用しようとするとき、富栄養化シミュレーションを施策検討サブシステムのオペレーションとオンラインするにしても、いくつかの構造変数とパラメータは固定しておかねばならない。たとえば、将来の地形変化にあわせた流況シミュレーションや底泥しゅんせつの効果モデルの形式においてである。現在までのところ、システム的设计をいそいでおり、環境容量の実際の運用はこれからの予定であるが、そこで主として検討することが予定されている容量概念はつぎのとおりである。

- ① 環境容量については、とくに海域のCODの類型値に若干の問題があり、将来の海域の多様な利用を見込んで、値に幅をもたせる。その上で環境基準の類型のゾーンごとにそれを満足させるための負荷量の全域平均削減率を求める。(環境容量Ⅰ、Ⅱの例)
- ② 現象を一次近似して、水域のボックスと陸域の集水域ごとに負荷効果マトリックスの値を求

める。線形計画法によって削減効果の大きい集水域を特定する。特に下水道整備のシナリオによる人口および都市活動の支持容量の拡大を検討する。(環境容量Ⅰ, Ⅱの例)

- ③ 海域を区切った小領域と大領域の境界でのフラックス, および底泥への移行量, 分解量などのフラックスについて相互に比較する。神戸港域の水質改善のためには小領域の栄養塩の境界フラックスをどの程度に制御すればよいか, また, そのフラックスの広域ゾーンからの寄与を検討する。(環境容量Ⅲの例)
- ④ 底泥の部分にシステムの開放性がみられるので, これを底泥形成モデルとして特化し, 長期の負荷流入に対する緩衝機能として評価する。その上で底質環境の良化のために必要とされるより厳しい負荷許容量について検討する。(環境容量Ⅳの例)

参考文献

- 1) 末石富太郎, 環境保全(Ⅱ)－環境の制御・管理, 技報堂, p.12-17, (1980)
- 2) 末石富太郎, 環境学への道, 思考社, p.192-215, (1982)
- 3) 池田三郎, 持続的資源管理と環境保全のための経済・生態系モデル－閉鎖水域の富栄養化管理, 第1回環境科学シンポジウム講演報告集, p.550-551, (1986)
- 4) D. W. Pearce, Economic and ecological approaches to the optimal level of pollution, Int' J. of Social Economics, Spr. (1984)
- 5) 内藤正明, 環境指標, 学陽書房, (1986)
- 6) 内藤正明, 総量規制と環境容量に関するシステムの考察, 公害と対策, vol.11, No.6, pp. 41-49, (1975)

Ⅱ . 環 境 容 量 セ ミ ナ ー

1. 水環境の構造と容量

丹保憲仁 (北海道大学工学部)

環境容量特研セミナーレジメ

1. 容量とは何か?

- ・代謝速度 Material flux? (平衡レベル?) (空間限定)
- ・維持活動度 Carrying capacity? (人と生態系の収容力?)
(人口・生物数・産業)

2. 2領域での容量の違った扱われ方

- (計量対象)
- ・自然系：生態系の保全 → 循環フラックス ← 太陽エネルギー
(自然の構造) と平衡レベル (限定)
(自然の還元能力) e
 - ・都市・産業域：維持活動度 ← 循環フラックス → 化石・原子力エネルギー
(装置の構造) と平衡レベル (無限定・熱汚染限界)
(装置の能力) E

3. 都市代謝容量

- ・Open System 内部許容レベル → 代謝構造の設定 →
(投入エネルギーの大小)
- ↓ ↑ ↓
- a. 自然との干渉 ← 活動の拡大 ← 容量収容力 ←
- ↓
- Close System b. エネルギー利用密度が漸次増大

4. 自然環境容量を何のために考えるか?

- ・上述3項のa.b.の問題と都市の活動度とのすり合わせ?
- ・都市の活動を自然の受容力の範囲に? (もっともな発想?)

地球上 のE.	化石エネルギー消費	2.0×10^{20} J/Y
	太陽エネルギー (生物の光合成)	3.0×10^{21} J/Y (Biomass有機物代謝)
	(風 ・ 波)	1.0×10^{22} J/Y
	(全 体)	5.5×10^{24} J/Y

☆化石エネルギー消費よりもバイオマスや風・波を経る代謝にあずかるエネルギーレベルが一桁以上大きい。 → 自然環境容量を使えばという発想がでてくる。

丹保先生講演内容

ご紹介頂きました丹保でございます。今、村岡先生から難しいことを言うなという釘をさされました。海老瀬先生にもストレートに、物を単純に話すようにという御指示を頂いておりますので、なるべく真っ直ぐ、何を言っているかわからないと言われないように努力致します。難しい話は末石先生、内藤先生にお任せすることに致しまして、今日は簡単にどなたでもお分かり頂けるようにと思っております。

環境容量と言う話を最初に書かせて頂きましたのは、末石先生と一緒に昭和47年でございます。先ほど伺ったらもう15年前だったわけです。その後いろいろと環境容量関連の話が出てまいりましたが、今日は話を絞りまして自然系と都市系で、環境容量というものの考え方をどういうふうに扱ったらよいのだろうかを考えてみたいと思います。結局はその2つを繋がないと我々何も出来ないわけでございますから、そこを繋ぐにはどうしたらよいだろうか、ということをご研究して頂けたらというのが趣旨でございます。

最初に容量とは何かということを書いております。実は容量というのは、私が申す迄もなく、ある大きさの場所が指定されておましてそこで何がどの位できるだろうかというのが、常識的な容量の考え方だと思うんです。しかしながら、環境容量と言う言葉で言われていることは、私はどうも2つあるような気が致します。レジメに書いてございますような代謝速度と維持活動度の2つがあるのではないかと思います。

オダムさんの本なんかを読みますと、Carrying Capacity という言葉が出てまいります。Carrying Capacityというのは、非常に広くとれる言葉でございます。あるシステムがどれだけの人口を支えることができるだろうか、どれだけのactivityを支えることができるかということというわけです。ある空間でどれだけの生物を支えることができるだろうかということ、自然系でもこういうような維持活動度というのがあると思うんです。維持活動度 (carrying capacity) は空間の中における最大収容能力を一般には考えるわけでございます。上限をどこまで上げられるかということ都市系では過去から皆がずっとやってきました。

ところが、自然環境容量というような言葉を使う場合には、多分、そこではどれだけ負荷をかけてやったら環境の状態はどの位のレベルにとどまるのだろうか、言うようなところで議論されるわけです。考えてみればこれも一つの容量なのかと思うのですが、実は平衡レベルを欲しがっているのではないかと言う気が致します。そういう意味で容量という言葉の使い方には2つの面がありそうに思います。

15年程前に末石先生や亡くなった南部先生と一緒に環境容量の勉強をしました時に、私どもは主として都市系の維持活動度の問題を議論していたのですが、その途中で突如として新聞とかなかにかに、自然環境容量みたいな話が出始めました。環境容量という言葉が勝手に一人で歩きだしたなあと言う感じを勉強しながら思ったもんでございます。

レジメの次には、環境容量を考えるということは代謝速度の維持と平衡レベルの検出が目標な

のか、それともどれだけ物を収容できるのかということが問題なのか、というようなことが書いてございます。ここでキーワードとして見て頂きたいんです。左側に構造が書いてあります。右側にそれをドライブしている最終的なエネルギーが書いてございます。小文字のeと書いたのは、これは太陽エネルギーだと思って頂きたいのですが、大文字のEと書いてあるのは、これは我々が使っております化石エネルギーだとか、原子力エネルギーだと考えて頂きたい。自然系では、何はともあれとにかくエネルギーフラックスの限定がございませぬ。頭を押さえられているわけです。従ってこれを限定条件にしない限りは議論は全然進まないわけです。物を考えていくネックと言いますか、最後のフレームワークになるわけです。

容量を議論するのは空間が限定されなければなりません。大気汚染なんかでは自然的空間を限定するという事は不可能で、ある場合には地球レベルになると思うのです。空間が限定されるとエネルギーの限界条件が次にまいます。使えるeが決まっておりますも生態系がいろいろ変わるということは当然あると思うんですけども、自然の構造というのはそんなに急に大きく変われない。変わるとすれば、そのeを有効に使うべく生態系の構造を変えていくような遷移が起こるだろうと思います。その場合に我々は何で計量できるでしょうか？ 多分平衡レベルみたいなものをチェックしているのだろうと思います。そして、そこで循環のフラックスがどのくらい増減しているのかわかるかを計量しようとするのだと思います。多分その辺を頼りにして何か自然の還元力みたいなものが定量化できて、その還元力を何かをする場合の一つの依り所にしたいというふうな発想がある種の環境容量を考える人の頭の中にあるのではないかとこのように思います。

それに対しまして、都市とか産業というのは全く人間がつくり出しました仕掛けでございませぬ。人間が作り出した装置の構造はいろいろ変えることができます。仕掛けをかえます。これは自然生態系に比べまして、単純であるが故に乱暴な組み方の変更が可能でございませぬ。しかも系をドライブするエネルギーの限定が殆どございませぬ。極端なことを言いますと、最後に環境を限定するのは熱汚染限界までどんなことでもできるということになります。多分我々が今使っているエネルギーの消費密度の1桁上ぐらいでエネルギー限界があるのではないかと考えておりますけれども、今のところエネルギーについては、何とか余裕がまだ少しありそうです。従って化石エネルギーなどによるEというものを使うことによってフラックスを高め、平衡レベルをかなり制御できるようになります。つまり、左側の方へ矢印は向いてactivityを上げていくことができます。どこまでactivityを上げられるのかということをや産業、人口、生物数などを指標にして考えます。維持活動度と言うことになろうかと思ひます。これは産業だけでなく、人工の系の中に放りこんだ生物生産なんかはこの範疇と考えられるだろうと思ひます。こうなるとまいますと同じ環境容量という言葉でも、自然系と都市系では計量対象をめぐる矢印の向っている方向が違うのではないかとこのように思ひます。

そうなりますと都市代謝容量と言われているもの（carrying capacityと言われているものと

同じようなものと思いますが)、これは人間が生きていくために必要な物質を出したり入れたりすることによって、どれだけの活動が支えられるかを意味するでしょう。ある限界までくると、人間がメンタルにその活動の密度に耐えられるかどうかという物質的でない部分が非常に大きなものになることは当然でございます。

その前の段階の話をしていきます。人間の活動はオープンシステムで、活動圏の外側にはかなり大きな自然、もしくは自然に近いような状態がある。そういう条件に囲まれた内部で人間が集まって住んで、都合がよくいろいろな情報をやりとりして、活動の密度が上がってくるし、いろいろな処理の密度が上がってくる。そうすると段々に内部が住みにくくなる。そこで、遠くから水をもってきたり、下水道をつくって不用なものを外に放り出してしまったり、というような大きな社会(代謝)システムが出来る。その時どのくらいエネルギーを使えるかということが代謝の形を決めるのに大きく影響します。水を例に考えて見ます。太陽エネルギーで循環してる水、これは資源の中で極めて特異な資源でございまして、殆ど月のオーダーで再生されて、必ず帰ってくる絶対なくならない循環資源です。

こういう非常に再生性の高い資源のようなものは、集めてくることによってだけで、代謝を維持できるようになる。集めてくることをうまくやって、広範囲にそれをやれば、活動中心ではかなり収容能力を上げていくことができる。活動度が上がるとまた内部のレベルが悪くなる。だんだん水の使用量が増え、大循環でまかなえる量では足りなくなると今度は仕方がないというので、化石エネルギーを叩きこみまして、下水の再利用であるとか、極端な場合には海水の淡水化のようなものすごいショートサーキットを作って水を回そうとする。そうやってまいりますとこれは自然との干渉が出はじめてまいります。自然と干渉させないためには、外部との縁をなるべく切ろうということになります。エネルギーフラックスは環境境界を通じて出入するのは仕方がございませんけれども、物質フラックスは環境境界内に閉じ込めてしまうというクローズドシステムが提案されるわけでございます。

クローズド化すると言うことは、境界(boundary)の維持に大変大きなエネルギーを使うと言うことございまして、これもまた化石エネルギー等を集中使用するEのシステムに全体として転換していくんだということになります。そうなりますと、自然の干渉とエネルギー利用密度が漸次増大するという2つの課題の中で、我々は何かを選択しなければいけない。我々は殆ど化石エネルギーベースの活動をしておりますので、エネルギー密度が上がってエネルギーの総量が増えるということは、エネルギーの流れと反対方向にマネーフローがあると考えれば金がかかるということでございます。お金がかかるか、自然が壊れるか、ということのどちらかをとらざるを得ない。お金(エネルギー)がかかっちゃいやなものですから、なんとかして自然との干渉を限界まで和らげて、もしくはぎりぎりまで自然を使い、自然をしゃぶっていこうというのが自然環境容量を考える多くの人々の発想ではないか。自然との人間が自分の内部のそれぞれのmotive(同床異夢)によって付き合うことを考えようと人間が思うことではないかと思えます。そうなって

まいますと、自然との干渉というものを考える場合に、自然というのはどの位capacityをもっているのだろうという話がきくと話題に上がってくるだろう、と考えられます。

今もう既に半分申し上げたわけですが、自然環境容量を何のために考えるのかという立場とか動機があると思うんです。そういう問題を議論していく時にいろんな立場の方がいらっしやると思います。多分A、Bと言う、今申しあげました自然との干渉をエネルギーを多く使う（お金がかかる）方に逃がして処置するか、それよりは自然との方で行けるところまで行ったほうがいいんじゃないかといった選択がでできます。自浄作用の研究なんていうのは結構沢山あるわけでございまして、その時にはstrategyの異なる人間の系と自然をうまくすり合わせられないかという議論が多分でて来る。それは決してデタラメな発想ではないんだと思います。次の表を見て頂くとよろしいんだと思うんです。チョッとデータが古いのですが、今地球の上で化石エネルギーが消費されているのが、 10^{20} ジュール/年ぐらいの量とされています。太陽エネルギーが入ってくる量が 10^{24} ジュール/年だそうでございます。そのうちbiomassに転換するのが、 10^{21} ジュール/年だということになりますと、化石エネルギーは、バイオロジカルなものよりも可成り少ないということになります。我々はいろいろ我々の空間の周辺で環境とのすり合わせをやるようなことを含めて、生活をやっていってるわけですけども、そこで使われている化石エネルギーよりも生物の光合成に使われている化石エネルギー（biomassの有機物代謝）の方が一桁も大きいわけです。そして全体でみると環境における物質代謝では後者の部分を大きく使えるんじゃないか考えるのもこれは無理ないことだと思います。

風や波のエネルギーは、これは海流とかも含めまして、 10^{22} ジュール/年であるということになれば、汚染物質の拡散輸送(transportation)にこれは使えないかということをお当然考えるわけです。大きなスケールでdiffusionの議論が起こりますし、地球上の温度が可成り様になってくるのもこのためでございますから、globalな議論の中では当然考えに入ってくるわけです。そういうことを組み合わせて自然環境容量をうまく使えないだろうかというふうに考えるのは当然なんだと思います。今日の主題である水の話に限って考えますと、水は輸送速度がそんなに大きくございませんから、地球をそんなうまくは使えない。気体のような輸送速度が非常に大きいものでございますと、成層圏とのガスの問題とか、それから海における CO_2 の吸収であるとか、それから森林における酸素の発生といった現象などにみられるように、容量の話はglobalに多分進むだろうと思います。

水の場合は、大変輸送速度が小さくて、常識的に言えば $1m/s$ ぐらいというのが、水の一番速い輸送速度と考えれば直しいわけですから m/s のオーダーの移動が有意な空間で議論しないと議論が成り立たないわけです。そういたしますと水の場合は可成り限定されたboundaryの中で問題が起こってしまうと思われま。境界の中でどんなものが起こるかを考えて見た時に、我々が思っているほど境界内の空間は大きな自然の受容能力を持っていなさそうだ、（存在するバイオマスはそれほど大きなassimilation capacityを持っていない）ということになるとこれは大変だ

ということで、assimilation capacity を局所的に計量しようとし始めるわけです。BOD などはその計測の試みと考えると良いでしょう。

人間が個人で生活を営んでいる。それが、個人では生きられなくて段々集団になります。水にいたしましてもゴミにいたしましても、その出し入れが、いわゆるメタボリズムが社会化してまいります。社会化してまいりまして、その規模がだんだん大きくなってまいりますと、かつて人が自然の中に一種の動物として簡単に存在していた領域を越えます。地球上の空間が太陽エネルギーに支えられるe系（自然、太陽エネルギー系）と化石エネルギーや原子力エネルギーを集中使用して成立する人間社会のE系（化石燃料系）に分かれます。E系の側がいろんなことをやりますと、一旦e系に出た現象が必ず再びE系にゆりもどして返ってきます。

今E系がどんどん過集積になってまいりますと、E系内部で我々いろんなことをやった結果、公害とかなんか起こりまして、その内部の汚染レベルを何とかカットしなければ、人間の健康とか大切さが失われるということになります。それをどうやって始末してきたかという、高速大量輸送で外部へみんな放り出していたわけです。ところが近代文明の拡大がどんどん速度を上げて大きくなってきました。現代になりますと拡大だけではなく、いろんな活動中心が起こってまいりまして、お互いに放りだしたものをお互いの間にぶつけあって、行くところが無くなってくる。そこで質変換ということはどうしても代謝を扱う中心課題として考えなければならないことになります。量から質への転換が近代から現代に起こっているわけです。

これは昔、末石先生と御一緒に仕事をさせていただいた時に書いたものでございます（図1）。

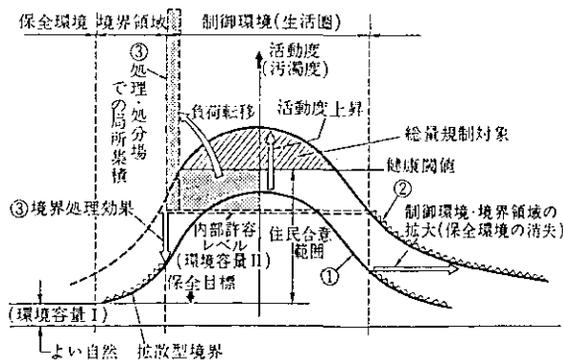


図 1 環境容量概念図（丹保憲仁）

黙っていれば、だんだん社会系（E系）内部の活動が上がってくる。これが上がってまいりますと必ずこれに応じて拡散境界が発生いたしまして、外部（e系）にいろんなものを押し出していく。そうすると計量できるのかどうか分かりませんが、非常によい自然というレベルを越えとまぜいことになります。この検知できるまでの負荷量を自然環境容量と多くの場合言っていると思います。detectableということになると、ある望ましい自然環境のレベルまで押し下げようと

して、E系で境界制御、すなわち下水処理だとかゴミ処理だとかを致します。内部の問題となるものを輸送でもって境界までもって行って、境界で処理してしまうために境界に大変大きな負荷が集積してまいります。そうすると我々自然環境（e系）と内部環境（E系）の境界のところをE系と考えるか、e系と考えるかが問題になります。つまり自然浄化のようなものを頭の中においてe系で境界制御を考えるか、とことんまで化石エネルギー、原子力エネルギーに頼るE系での制御によるのかというようなことが、これは議論の分かれ目になる。環境容量を議論する場合にもここをどう処理するかということが、やっぱり多分一番大きなエンジニアリング、もしくは政策決定のポイントになるでしょう。自然系（e系）は、おそらくコントロールが出来ません。ですから、モニタリングかなんかで絶えずチェックをして負荷する量を制限するというのが、人の扱える限界ではないかというふうに思います。自然環境容量としてその扱いの限度を定めたいという誘惑がでてくるわけです。

人間が境界から物質を放り出し、汚濁の自然再生力、自浄作用に期待するということは、別の見方からすれば、e系で太陽エネルギーフラックスをベースにして非常に大きな面積をとった処理系（natural purification）を考えるということになります。自然系の中である汚濁物の存在を認めるかどうかというようなことです。認めなければ物の変化を期待できませんから、それを認めると言うことが前提になって始めて、その容量というような概念がでてくる。これは確かに内藤先生も前に書いておられた気がいたしますが、とにかく人間がある状態を認めるということが前提で容量が発生する。それでないと容量は発生しないということです。汚濁負荷がだんだん大きくなってまいりますと、これはもうe系では処理できなくなりますから、境界のところに処理施設（E系）を置きます。先ほど申しましたように汚濁負荷を一挙にちぢめてやろう、つまりE系でe系の面積を買ってやろう、というのが下水処理場の発想でございます。さらにもっと厳しくなると、境界に高度処理場を設けまして、社会活動空間の中に循環系を入れることとなります。きれいにしたものを捨てるのはもったいないから回せという話になりまして、これは社会システムを完全にE系に切り換えてしまうこととなります。つまり、このようにして構造を変えていけば、都市はまあ単純な話でいう限りは、代謝容量をどんどん上げていける。都市の環境容量は、どんどん上がってくるということとなります。ある限界が来るとすれば、それはなんだろうかという熱汚染、物理的な熱汚染でございましょうし、後は人間がそれに耐えられるかというメンタルな問題、病気の問題がでてくるでしょう。ですから、考える空間の大きさとその空間に我々の要求する環境質のレベルというのをどこにとるかということを決めることが、出来るか出来ないかということが環境容量を考える一番の難しさであり、一番の鍵になる問題ではないかと思えます。

我々はE系を用いて、物質汚染をエネルギー（熱）汚染に置き換えると言う形で境界処理をやってきました。ですから、先ほどから申し上げておりますように、我々のコントロールできる、または我々が見渡すことができる範囲の中で、Eをどう扱うかということが多分環境を制御

するときの一つの大きな判断点になります。

これは前に『都市の蘇生』という本の中に末石先生も書いておられることですが、水の問題を考えます場合には、水の循環（代謝）がある空間スケールとある時間スケールで回っている時に、どの大きさで回したらよいか、どの成分とどの成分を共役にしたらよいかということが議論の中心になると思います。水の循環サイクルの中でコンジュゲートさせてもよいか。コンジュゲートをする場所と解放する場所の2個所がございまして、つまりコントロールポイントというのは2個所あるわけです。2個所のコントロールポイントを我々は自然系（e系）にとることができるのでしょうか、これは非常に難しいこととございまして。

自然系では、物を別々に分けるようなコントロールポイントをなかなか取れません。とれるものも勿論あります。CO₂とCaと反応してCaCO₃が海の中で沈澱するというような恰好でティピカルにとれるものもありますけれども、一般にはなかなかそうはまいりません。そうすると、水と汚濁物のコンジュゲートを解放するのをどの成分について自然の場で考えられるかというようなことによりまして、容量というものを議論することができる変数は、場合によっては大変限られているわけです。つまり、限られた変数でなければ、現象というものを容量化できないんだということになります。これはもう皆さんご苦労なさっていることだと思っておりますけれども、コンジュゲートポイントをどこにとるかということがはっきりしないとできませんのでなかなか容量が議論出来ないわけです。もし、このコンジュゲートポイントをきちんととれるようなものを指定すれば容量というのを多分我々で議論できるだろうというふうを考えます。

先ほどの話をもうひとつ別な観点からいたします。自然系（e系）では、低密度生物系でございまして。この中では、人間は生物の一種であるという扱いを受けます。つまり、我々は one of themなんだということになります。ソフトエネルギー（太陽エネルギーによるe系）が駆動力であり、情報はもう一杯入りこんでおりまして、制御がないといったらよいでしょうか、我々は制御を積極的にはしていない空間です。そして物質はカスケード利用されていて、あるものが使って出したものを次が使ってというようなことをやっている。そして非常に緩い循環が行われている、相対的に皆で利用しあっている空間である。まあ、棲み分けというものもあるんでしょうけれども、多様な系としてのe系がE系と大変違うところなわけです。そして我々は人工境界を作りまして、E系の中に閉じこもっている。E系ではエネルギーを集中し、そして物質はどの位出入りするかということはエネルギーを叩きこんだレベルに応じて決まっております。その場は人工の場ですから、もう一つ、情報の量が多くなってくると、それをうまく制御出来るかどうかということが絡んでまいります。人間共はそれほどうまくは沢山の情報を使えませんので、情報の量というのはかなり大きな問題になる。この問題は空間をどの複雑さの範囲で切り分けるかという境界の問題に立ち入って行きませんと議論ができないわけです。つまり、境界制御をどう考えるかということが、我々のこの高密度居住系（E系）を外部のe系と離す場合に最大の問題となりましょう。人間は一生物として生きていくという意味で多様な環境を要求している動物である

ということ、動物の一種であるにしても、今や特殊な動物であるということと共に成立させませんと生存が続けられないわけでございます。共に成立させるために、境界を人間が行ったり来たりするのか、境界の中に疑似的な自然を作るのが良いのかわかりませんが、人工境界の構造をどう作るかということが大変問題になりましょう。そうなると環境容量を考える場合、人工境界というものをもう一回見つめ直してみないと、議論が先に進まないのではないかと気がする。私自身はどう見たらよいかという自信はございません。

オダム先生が書かれておりますように、地上の空間を都市・産業域、農業生産域、自然保全域と三つに分けて考えてみましょう。都市・産業域は殆ど有機物生産を伴わず、その中で我々は何のすごく大量のエネルギーを叩きこんで生活している。農業生産域と自然保全域では、同じバイオマスが存在してもその域圏でもっている strategy が違うということは御存知だと思います。農業生産域は成長の系でproduct とbiomass の比をなるべくproduct の方を大きくとろうという系でございますし（大きなP/B比の系）、自然保全域は多様な生物群が相互補償しあって、なるべく安定を高く保とう、エネルギー効率を高くしようとしている系です。農業生産域はエネルギー効率は多少悪くてもproduct を沢山とるという系でございます。そうすると、我々の系中で消費したもの、排出物を、自然保全系へ持ち込んでも当然処理できませんから、productionが非常に大きく出て、biomass当たりの生産量の高い系、農業生産系で始末しなければいけない、ということになるのではないかと思います。これならば環境容量を議論できるかもしれません。有機物についての環境容量を議論できる空間が農業生産域ではないだろうか。e系を用いたboundaryというのは多少E系によって支えられている、こういう空間なんではないかと思います。つまり農業とか林業といったような空間の大きさが、我々にとって環境容量を考える場合に非常に大きな場所になりうるんじゃないか。

例えば湖を考える場合にそれを自然系の湖と考えてしまうか、それをラグーンと言ったらいけませんけれども、ある種人工系の加わったものとするか、その湖を2つに機能を分けて共用させるようにある種の定義をすること、場合によっては一つの考え方になりうるんじゃないだろうか。容量というのはその環境のレベルを指定しなくては定義できない。レベルを指定すれば単純な物については多分容量は出てくる。多分このような議論の出来るものは、始末がつけられるものに比べると拡散する速度が高くない、水に対する固体のような場合にはできるのではないかと思います。そうすると、E系とe系のやりとりを都市産業域と農業（水産）生産域とのやりとりを中心にしてどうやってデザインするかということの水系のコントロール、容量の場合には考えなければならないんじゃないだろうか。

これは末石先生の図2でございますが、自然サイクルと人工の場合も含めた二段目のサイクル、三段目のサイクルが水の循環では積み重なって存在しております。都市の水サイクルを考えて見ますと、自然の大循環を次の二段目のサイクル当たりのところに（自然と都市の間に）、biomassの生産をしている空間というのが、自然環境容量みたいなことを考えだしたら、入ってくるんで

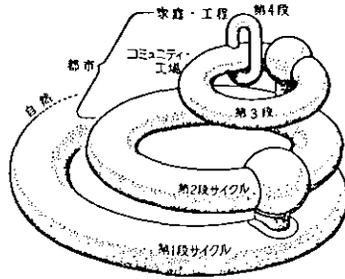


図 2 環境の4段サイクル

はないかなあというふうを考えております。

都市・産業域、農業生産域、自然域を通じて物質収支はとんとんになっているわけです。資源採集—利用—廃棄のオープン型から段々資源の貴重化、空間限定が強くなってくると空間制約が先きて、次いでエネルギーと空間制約が生じ、だんだん環境からの要求が厳しくなってくると再生利用の適切化というようなことが議論されてくる。これは多分環境容量の議論が出てくる理由の一つだと思います。利用空間と保全空間を分離しまして、ハイブリッドな系として自然系の一部を取り込んで運用しないと、エネルギー（コスト）が持たないと考え始めたのだと思います。その時非常に問題になりますことは、我々の科学のもっている能力の限界でございます。物理は6桁の精度をやすやす出します。化学は2桁でございますか。生物学とか社会科学は1桁の程度しか議論に精度がないかもしれません。そうすると6桁の精度を持った構造物を、2桁の精度をもった反応と組み合わせた科学技術と、生物の学問もだんだん進んできているとはいえ、社会的な判断とか、生物学的な判断になると1桁オーダーの精度でしかないとする、それらをうまく組み合わせて、本当にソリッドなcapacityのようなものを我々定義して、その話をもとにして施設や装置に支えられた人の生活場を設計するというようなレベルに戻せるだろうかということが心配になります。

我々は水の大循環の途中で水の質を使うわけでございます。質を使うと環境の水に何かの成分を付加いたします。その成分をはずしまして別のサイクルにのっけてるわけです。そうすると、水はだまっても流れていく（大循環している）ものですから、水系の場合の環境容量を考えるには、この複数の成分のサイクルをどこで切り離し、どこで回したらよいかということでございまして、E系（人工エネルギー系）とe系（太陽エネルギー系）の2つをどう組み合わせるか、当然ながら問題が起こってまいります。ここで太陽エネルギーの系と組み合わせるとしても先ほど申しましたように漫然とself purification を考えるわけに行かないわけです。productiveな空間と、それからproductiveでないバランスを尊んでいる空間というのは、やはり同じe系の空間の中でもstrategyが違う空間なわけです。このところをよく考えまないと、自然のcapacityのようなものは議論の対象には多分ならないというふうを考えます。

構造容量の例として、『札幌と水』という新聞系の本の一部に書きましたものを見て下さい。豊平川が市の中央部を流れておりまして、下流の石狩川を経て、ここにサケが上がってくるんです。BODが3 mg/l位です。都市を貫く人工河川の創成川とその下流の茨戸湖では、BODが6とか5 mg/lとかそんな数字です。新川ではBOD 6—7 mg/lなんていう数字が出ている。ところが、もし1本の豊平川の上流から下流までにぶら下がっておりまして、都市で使った水が全部この川に落ちれば、当然このBODは10mg/lとかの汚濁水になるのですが、実はこちらにあまり落ちないで創成川や新川に流出するので、本流にはサケが上がってくるができるようになります。カムバックサーモンなんて話が成立するのは1本の川だけで水代謝を営んでおらずに、複数の派川に汚濁の振り分けをやっていることによります。やる気があってやったわけではないと思うんですけれども、汚濁の振り分けをやっているから今の程度の下水処理でカムバックサーモンが来たのでございます。

確かに我々が自分で使っているエネルギーは環境が持っているbiomassを構成しているエネルギーよりも小さく、自然環境の方が大きいんですけども、札幌の自然空間で水代謝を扱う時に

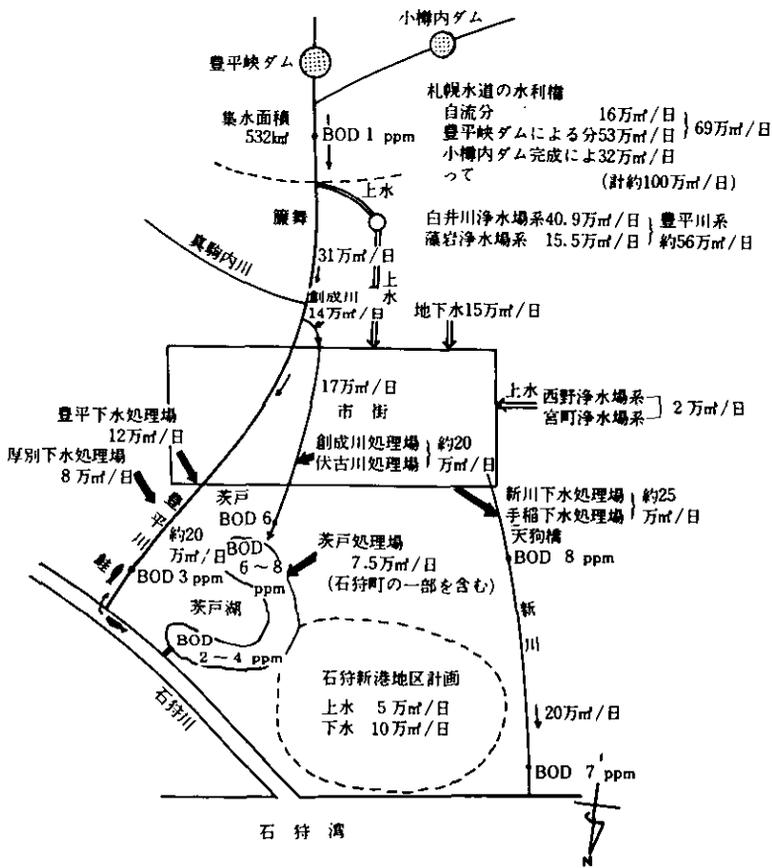


図 3 札幌の水収支

昭和57年現在
(大略の数値)

は、こんなちっぽけな面積でしか議論ができないわけです。如何に大きな自然の容量があったとしても、水の場合には1m/sという厳然とした輸送速度の限界がありますので、そのほとんどを到底使えないのです。その限界の中で議論しようと思いますと、自然浄化容量というものに頼ることは大変難しいというふうを考えざるをえない。

簡単に言いますと、下流水質を3mg/l ぐらいの類型Bにしたいと考えます。そうすると、日本の普通の状態でございますと、300 l /人/日ぐらい水を使うと考えますと、それからBOD の発生量を一人当たり一日50g ぐらい取りまして、平均水量と濁水量の比を2.5 ぐらいにとりましますと、用水側の条件では一人の住民あたり300m² ぐらいの水源面積があれば、ダムを造って水利用がまかなっていけます。それに対して、下流条件で考えますと類型Bにいたしますと下水処理をやって95% ぐらいBOD 負荷をカットしましても、必要な河川水量を維持するための水源面積が900m² なければいけないことになります。そこで類型Bを維持して河川を制御していたら濁水は起こらないということになります。一本の河川にぶら下がる水利用で濁水が起こっているというのと、下流で類型Bを維持していないのではないかということなんです。どこかへバイパスしているということなんです。

しばしば濁水が起こっているような日本列島では、今のような下水処理場を増やしてきた中では一本の河川の下流の類型Bは保持出来ないわけでございますから、当然に海を使います。海的环境容量というものを我々とても計算出来ませんから、沿岸にせいぜい出すだけで、そこが良ければ後はなんとかなるだろうということになります。逆に言えば今の下水処理場ぐらいのことをやって、ライン川のようにくり返し利用をしていくと類型Dになってしまうわけです。こうなるとまいますと、自然の浄化容量なんていうものをどこでカウントしたらいいんだろうかよく判らなくなってきます。つまり、内水に配慮した場合に、川がどういう形で地域に張り付いているかということ、かなり大きな面積でみないと議論の対象にならなくなってしまふ。

非常に簡単な乱暴な話ですけれども、構造容量だけいうならば下水を再生利用して水利用を多元化すれば、札幌市と今の豊平川一本で 500~600 万の人口がかかるが養える。北海道全部が札幌に集まっても、この程度の再生システムを持ち込むだけで、ほとんど問題なく生活できるわけです。従って代謝構造容量というのは、水系ではほとんど問題になりません。お金が多少高くなります。エネルギーは若干上がる。しかしそれを自然とのすりあわせで行なおうとするとそう簡単ではない、ということをお分かりいただきたいと思ひます。

最後、締め括りたいと思ひます。時間もございませんので非常に駆け足でお話を致しました。最終的に問題になりますのは、我々はその太陽エネルギーをドライビングフォースに致しましたe系の利用可能なエネルギーフラックスが限られている系の中であるレベル、(我慢するレベル、すなわちサケが上がってくる川にするか、コイがすんでいる川にするかというレベル)を決めたとすると、そこで共役に循環させる水以外の物質の受け入れ可能なフラックスを推定できそうだとということになってまいます。どの程度の負荷を流域にかけられるかをBOD といつてあ

まり扱いの難しくない指標ならできらうと思ひんです。

しかしそれだけでは実は環境容量を議論したことにならないでござひます。環境容量というものを議論する場合に、これはE系の環境の構造容量なのか、E系の境界の容量（構造容量の一部とも考えられる）なのか、boundaryにおける自然のエネルギー（e系）を使った容量なのか、それとも本当に自然環境の容量なのかというあたりをもう一回しっかり考え直してみなければならぬでしょう。今議論している空間、湖であるとか川であるとか沿岸であるとかいうのは、それはいわゆる環境なのか、環境には違ひないんですけれども、それは境界として我々は使うというふう腹をきめた空間なのか、そして境界として決めたとすれば、我々に対してどの位役に立ってくれる空間なのか、そのようなことを少し詳細に考えてみないと、いけないではないだらうかというふう思っております。

2. 環境容量と環境計画

末石富太郎 (大阪大学工学部)

環境容量と環境計画レジメ

1. 有限の諸相

- 1) 有限でゆがんだ宇宙 (J. J. Callahan) cf. Kant (1781) の純粹理性批判: 空間の背理 (Newton も Leibniz も正しく, 宇宙は有限でも ∞ でもない) 空間とはものではなく物質配置を知覚することから始まった経験的概念 = ものをみる形式
- 2) 都市の飽和人口 (Logistic Curve) cf. Lotka-Volterra Model's prey/predator cf. renewable fish resources and fishery model by N. Sakashita & P. Nijkamp
- 3) 成長の限界 (ローマクラブ, Meadows, Mesarovic)
- 4) エネルギー資源 (薪・石炭・石油・天然ガス・ウランなど) に関する馬野モデル (馬野周二『石油危機の幻影-エネルギーをめぐる地政学』ダイヤモンド社, Feb., '80) cf. 末石の潜在廃棄物蓄積モデル
- 5) カタストロフ [Rene Tom's Model (反転=可愛さと憎さ), 分岐 (渦の向き, 子供の音痴), 断層 (気象前線, 地震), 拡散 (大気, 野球)]
- 6) 経済成長速度の限界 (Nathan Keyfitz/Sueishi)
- 7) 有限寿命 (末石/西丸震也『山小屋造った...ネコも来た!』文芸春秋, Oct., '78)

2. 環境容量の概念規定 (内藤/末石・丹保・南部モデルは省略)

加藤 迪は EC を次のように分類した (1974)。

- 1) 適正容量 (E. P. Odum の適正人口モデル: 2 ha/人)
- 2) 限界容量: ○自然の物質還元 = いわゆる ECI)
 - 品田 穰の都市生態型疑似自然モデル (指標: 人口密度 / 『都市の自然史』中公新書および別図参照)
 - 末石の ECIV, およびIVとIによって規定されるIIIおよびII

このうち1)は, 生態学的アプローチとして研究がやや活発化したものの, 考え方がナイーブすぎるといった批判があった。2)が環境計画の対象となるが, ECIは, 計画との対極にある分析型を逆規定したものであるから, 計画概念をもっていない。

3. 多目的活動を受容する容量構造の欠如

Ian McHarg の流れを汲む土地利用適性評価手法 (map overlay) は, Harvy Shapiro , 磯部行久らによって日本に導入されたが, 土地をグリッド分割して各々を特性づけをするに際して彼我の違いが顧慮されなかったため, ほとんど実施に移されなかった。アメリカでは, wild animal を保全すべきグリッドから徹底的に市街化できる区分に至るまで, 通常100~1000の土地特性を持っているから, せいぜい数十の人間活動の種類を配分するのに自由度がきわめて高く, まさに planner の天国になっている。

したがって, 日本でこの手法を適用可能にするためには, 人工的, 疑似自然的な土地特性をも含めて人間活動の受入れ構造を多層化しないことには, 環境容量理論はおろか都市環境計画の研究そのものも意義を失う。つまり, 末石らの容量4段階をさらに多元化して, アメリカの自然的土地特性と類似の構造をつくりあげることが必要になる。水関連でいえば, 徹底的に循環再利用を導入するブロック, 地下水を水源とし, または浄化費がいかに高価でもおいしい水を飲料専用に供給する(もちろん二元ないしはそれ以上)などし, それら多元システムの構造的・空間的組合せと人間活動の主要な分類とを整合させねばならない。

Brian W. Mar は, carrying capacity の概念が人間活動と生態系との間に1段階の閾値しか仮定していないこと, 稀少資源のシグナルが市場経済で有効とする経済学者がなお多いこと, さらにCCを制約とする政策が都市人口の空間的分散をもたらしかえて環境質の低下を招くこと, などを理由に, 末石・丹保らが提唱してきたのとほとんど同様の水戦略をD I D Strategy と名づけている。アメリカでも都市圏に対してはこのような考え方が出ているのだから, 日本での戦略(計画)の重要性が理解できよう。

4. 環境計画の類型

1) 科学的分析/ディメンジョンング・設計(デザイン, 意匠)・計画/分析から計画への最適移行点

2) デザイン・ポリシーから計画ポリシーへの拡大 (James Siddall)

複合機能に対する価値の設定(哲学・直感・経験)/異なる価値の総合化=デザイン・ポリシー(優先機能・aesthetics・evolution→state of the art, consumer acceptance, model tests)

3) tame problem と wicked problem (Rittel & Webber)

4) 自然の認識: 生産性, 物質還元, 自己維持性

5) 環境計画の5類型: エステティックス型, 基準型, 人口施設型, 生態型(1, 2), 自己組織型(F. C. Varela の Autonomy)

5. 環境計画モデル

1) 経済(節約, 経済合理性, 生態型1)と自然(厳しい自然, 外部条件, 生態型2)のフレームワーク

2) 多重循環型社会へ(水・エネルギー・土地利用・緑・熱・土……と情報/water balance analysis): 例 Purecycle System に関する日本的課題

3) 中央調整システム(without and with goal coordination), Mesdarovic の目標調整パラメータと中間項方式の比較

6. 身近な環境での因果連鎖の見方(スライド)

社会システム論的に言えば, 行為(計画)とは, 1) 目標あるいは何らかの予期された事態の達成に向けられており, 2) (ある程度分析された) 状況の中で起こり, 3) 規範(計画モデル)によって規制(誘導)され, 4) エネルギー, 努力, あるいは'動機づけ'する力(時間, 費用, 根気)の消費を含む(T. Parsons, et al.)。

また行為は, 社会システムの「要素間の関係概念」としてとらえられ, 専門的には「役割概念(規範, 葛藤など)」として分析されている。身近な因果連鎖(またはIとMe(たとえば他者としての地球生態に映されたおのが鏡))にもとづいて, 諸個人または集団の行為は「役割取得過程」(G. H. Mead)にある場合が多い。これを見定めることが重要である。

末石先生講演内容

標題に環境容量と環境計画を対置させましたのは、容量的な構造ないしは境界的な要素を計画的に増やしたいという意図であります。この間の3月16日のシンポジウムの予稿集も読ませて頂いたのですが、最後に盛岡通がこういう表現をしていますですね。「容量を操作概念をもつエレメントに分解せよ。」

現在土木学会では、丹保先生に副委員長をおつとめ頂いている環境システム委員会をやっと作ったばかりですが、最終的には社会が環境容量的なシステムを持つようにしたいのです。社会システムの的にみますと、環境システムといえるものはまだないというのが私の見方です。あるのはPPPぐらいなものであります。

丹保先生がとりあげられたのは別のアプローチで私もエネルギーを扱ってしまして、それは後ほどスライドにでてきますが、先ほどのお話は汚濁物の浄化ということだけで自然の容量という概念が成立するのかどうか、極端に言えば容量は無いという話でありましたですね。いったい有限か、無限かということについて世の中は何を考えたのかをまず最初にご紹介したい。これは私の大学の大学院でやっている環境計画論という講義の中で環境容量と重ねて話している部分であります。

ただしレジメの最初に LeibnizやNewtonを引用していますが、余り詳細にやっていますとボロがでますのでごく簡単に申します。基本的に言って、やはり人類は昔から一体宇宙は有限だろか、無限だろかということを考えてきたわけです。ところがそれにまあ決着をつけたのがKantであります。一応 LeibnizもNewtonも物理的空間は無窮大だ、均質の無限だと言っているわけです。ただし物質配置についてはNewtonは有限と考えておった。Kantはですね、そのどちらも正しいんだ、しかしどちらも間違っているんだ、結論として、まあこれを背理というんでしょうか、宇宙は有限でも無限でもない。どういう決着をつけているかという、空間というのは物と言う属性をもっているものではなくて、我々が空間を対象に何かを考える時にこれをどう見るかという、要するに形式に過ぎないんだ、ということです。これはもちろん物質配置を知覚することから始まった経験的概念です。

岸田秀という心理学者によりますと、我々人間は生まれてしばらくの間は自分が発生した排泄物が意識ができるまでは、体に塗りたくって何ともないわけです。しかしこれは自分ではない、自分とは違うんだということに気がついた時にそれを押しやる対象として空間を認識する、と言っております。我々技術者はなるべく速く、遠くの方へものを運ぶ、あるいはものを遠くからとってくる対象として空間を見ている、こういうことになると思います。そういたしますれば、結局有限だとか無限だとかいうことが、有るとか無いとかいうのは、適当にほどほどにやめておいた方がよろしいというのが私の考えでございます。

自然の容量は多分無いんだと丹保先生がおっしゃる。それならそれが無くてもいいような、かりに目にみえる境界がないとしてもですね、それを計画的に造っていくということでもいいんじゃない

あないかと考えられるわけです。

次に都市の飽和人口モデルを挙げておきました。私も以前に役所におりました時、ロジスティックカーブの人口予測をやりましたけれども、飽和人口がいくらかということ、例えば、土地の面積であるとか、人間がどうしているかということについて求めた研究にはついぞお目にかかったことはございません。これも一種の考え方にすぎない。

それからローマクラブの『成長の限界』がでましたが、Meadows がやったSDモデルが地球全体では無意味だということで、Mesarovic が地域モデルを扱いました。その結果“その次に地球は何を計画するか”という一種の誘導策にはなったでしょうが、これで限界というわけでもない。

それからもう亡くなられた方で、馬野周二さんに私は一度会っていろいろな話を聞いたので、この本（『石油危機の幻影』）を買ってみたら、やはり石油危機の幻影ということは石油資源が有限だと言ったら埋蔵資源量が増えるんですね。と言うのは、それだけ探して来るわけです。

また第 i 番目の資源の市场占有率 F_i とその他の市场占有率 $(1-F_i)$ をとりまして、図1のようにプロットします。薪が減ってきたら石炭が上がってくる。石炭が減ってくると石油がこう上がってくる。石油が減ってくると天然ガスが上がってくる、次に多分原子力がこうきて、それから多分この次にくるのが太陽でしょうね。こういう順序をみておく必要がある。石油なら石油の曲線の下面積がトータルの資源量に相当するわけですが、必ずしも地球上に石油がいくらあるかということによって限界が決まるんじゃない。必ず次の競合的な商品が出てくる。卑近な言葉でいえば、一種のエネルギーファッションみたいなものがあるんですね、太陽までいった時、太陽に対する競合が出てくるかどうかはわかりませんし、この図にはバイオマスが入っておりませんが、こういうことを馬野さんは経験的に力説しています。図1も一種のロジスティック曲線な

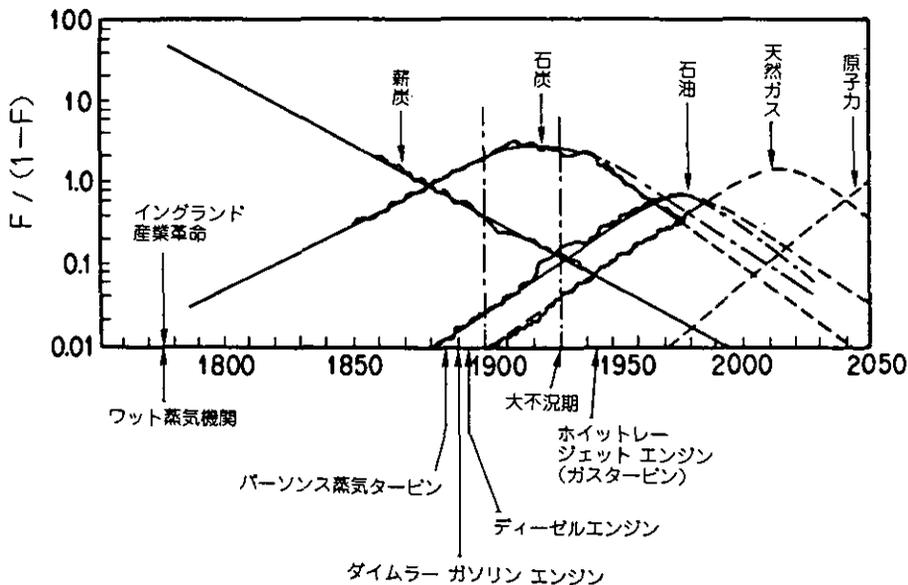


図 1 各種エネルギーの占有率の経年変化

のですが、ロジスティックカーブをどこでどう使うかということがポイントだろうと思います。私もだから目に見えるもののロジスティックカーブを議論するのではなくて、潜在廃棄物という少し目に見えにくいものの蓄積量に限界があるんじゃないかということで考えましたのが環境容量Ⅳであるわけです。

同じ意味でカタストロフという現象があります。カタストロフというのはですね、地球がもう一杯になって、もうどうしようもなくなった時にカタストロフが起こるのではなくて、カタストロフはやはり変化という意味で起こります。例えば、Rene Tomのモデルが有名で、ちょうど私も十何年前に環境容量の議論をしている時に、これは紹介されたモデルであるわけですが、可愛さあまって憎さ百倍というように明智光秀が信長に非常に忠義な家来だったのが突然変わるわけです。このモデルは図2のように説明されます。

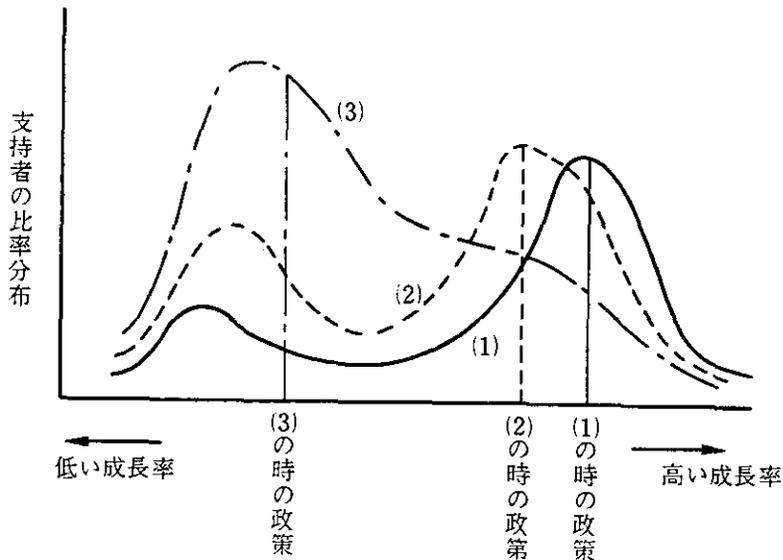


図 2 高成長から低成長へのカタストロフ的变化

例えば、高度成長に対して反公害のポテンシャルが高まってくると、ある時突然それが表に出て低成長派が支配的になる。そういう事が世の中にしばしばあるわけですね。そういう現象があるんだという前提で計画をたてる時には、ある段階で分析するのはやめてプランニングに移る最適点があると考えべきです。その最適点をどうして求めるか。この話は、丹保先生もscientificな話と分けておられましたね。その他に分岐とか断層とか拡散とかいうカタストロフをレジメに書いていますけれども、これは省略させていただきます。

それから、経済成長速度の限界というものがあります。表1の上段がハーバードの人口学のKeyfitzという教授がもうこれも7、8年前になるんですが、計算した表なんです。彼は地球上で資源の有限性を考える場合には、ただ人口だけ議論してはいけない、要するにその国民がどのくらいの資源を使っているか、40億の内中産階級といわれるものはたった6億しかいない。日本

表 1 経済成長速度の限界

年	総人口	資源消費量換算 中産階級(A)		貧困層(B)	(A+B)
1975	40 億人	6 億人	$\times 5 = 30$ 億人分	34 億人	64 億人分
2000	64	18	$\times 5 = 90$	46	136
2025	102	54	$\times 5 = 270$	48	318
2000	60	24	$\times 5 = 120$	36	156
2025	90	90	$\times 5 = 450$	0	450

人はこれに全部入るわけですが、その中産階級はインド人あたりと比べると5倍の資源量を使っている。これは電話を何台もっているかなどのパラメータを使って計算したんですね。残りを貧困層にボンと分けたとすると34億なので、今は貧困層相当で64億人分の資源を使っているが、将来人口はこう伸びていき、それから地球全体の経済成長が年率4.5%で伸びてゆく（中産階級の増加）と、人口は1.9%でしか伸びないけれども資源量はこういう速度で増えますよと、こういう計算をしているわけです。私はこれではあまり意味ないと思ひまして下段のようなモデルに私自身を変えました。人口を伸び率が1.6%にしましょう。経済成長速度を5.7%にしましょう。こういうことはありえないかも知れませんが、結局経済成長は何をやっているかという事です、早い話が貧困層を無くすために途上国に教育をどんどんして、テレビを使わすということをやっているわけです、地球上で。そのために日本は1兆円もの債務を棒引きにした、そういうことをやっている。仮にもしこうすれば2025年には貧困層が0になるということだってありうるわけです。こうすると先進社会はもうすることがなくなるわけです、まあ極端に言いますと。こういうふうな速度のアンバランスによっても限界が生じる。

有限寿命というのは、これはガンのお話などをする時に議論すべきテーマなんでしょうが、毎年7月ごろになりますと平均寿命はいくらになったという発表があるでしょうが、計算の仕方いかんによっては、1年間に平均寿命は1才以上増えることが起こりうるわけですね。そうすると死ねなくなるわけです。そうでなくて社会がいかなる医療システムと環境保全システムを持つか持たないかによって、社会の成員の寿命曲線を図3の左のようにも右のようにも解することができます。

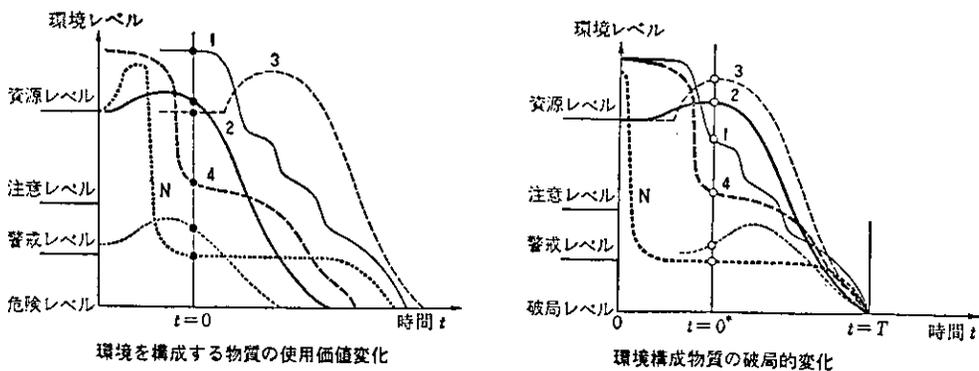


図 3 都市成員の寿命曲線

ます。

左側では1人が死んでもまた新しい人が生まれてきて、いろんな年令・活力の人が混じりあっていると読みます。そうでなくて右側は現在の社会構成要員の全てがある時期に死んでしまうということが充分ありうるんだ、その場合でも現状は左側とみわけがつかないということを示しています。例えば、現在のお年寄りとは明治時代に生まれて、いわゆる長寿村の生活をして年をとってきたら、いろいろ薬が開発される。ですが私どもはなかなか年寄りはいてくれないし、いつまでたってもいらしている。で、最近の若い子供は、むしろ加工食品ばかり食べて、車にのって体が弱いし、都市は公害や過密、ということであれば、全員同じ時に死ぬこともありうるわけです。そういう限界もあるわけですね。で、そういうこと起こさないようすることは、やっぱりこれは計画しかない。

実は、ここに西丸震也さんのチョットと不真面目な題名ですが、内容は大変真面目な本がありまして、文芸春秋から出ております『山小屋造った・・・ネコも来た!』という本です。この一番最終章には、具体的に現在生まれた子供の平均寿命は40ないし45才になるという計算をしております。通常年令ごとの死亡率を用いて平均寿命の計算と人口予測をしますね。それが10年とか15年たったら如何に予測人口が食い違っているかというチェックができます。したがって平均寿命も修正されることになります。私自身は、西丸モデルによると69才であります。が、今生まれた人は40ないし45才、もう少しフォローしてですね、データを追加しないとイケませんが、そういうことがでてる。

現在どちらかという限界というものを考えない社会システムになっているというふう考えた方がよかろうかと思えます。そこで私どもは、限界はあるんだ、特に自然容量は面倒だから0だとしましょう。私もし頭がもう少しきれいなね、15年前のことですが、多分自然容量がどのくらいか、フラックスがどうかという研究をしたらどう思うんです。こういう研究をしておられる方には失礼な話かも知れませんが、そういう研究はする気がなかったということでございます。ちょうど同じ頃ですね、NHKの科学部のチーフプロデューサー加藤さんが世の中でいわゆる環境容量のことを議論しているようだが、これだけの種類があるようだと分類をしてくれております。

第一の適正容量というのはOdumの carrying capacityであります。これは maximumではなくて optimum、適正容量というふうに定義しております。これはある価値観のもとにある生活スタイルをとった時に、その人を支えるためにどれだけ土地がいるかという計算方法で指標化したわけですが、自然的生産用地（中にレクリエーションなども入る）、それから食料を生産するための用地、繊維を生産するための用地、都市的な生活空間（工場とか清掃工場とかも含む）も含めて、一人のために2haある。haあたり0.5人ということになるわけです。これはですね、私もこういう研究しようかなあと考えてやりかけたんですが、どうも日本ではそんなことして答えが出るもんか、それはナイーブであるという評価でした。ナイーブというのは幼稚だということです。

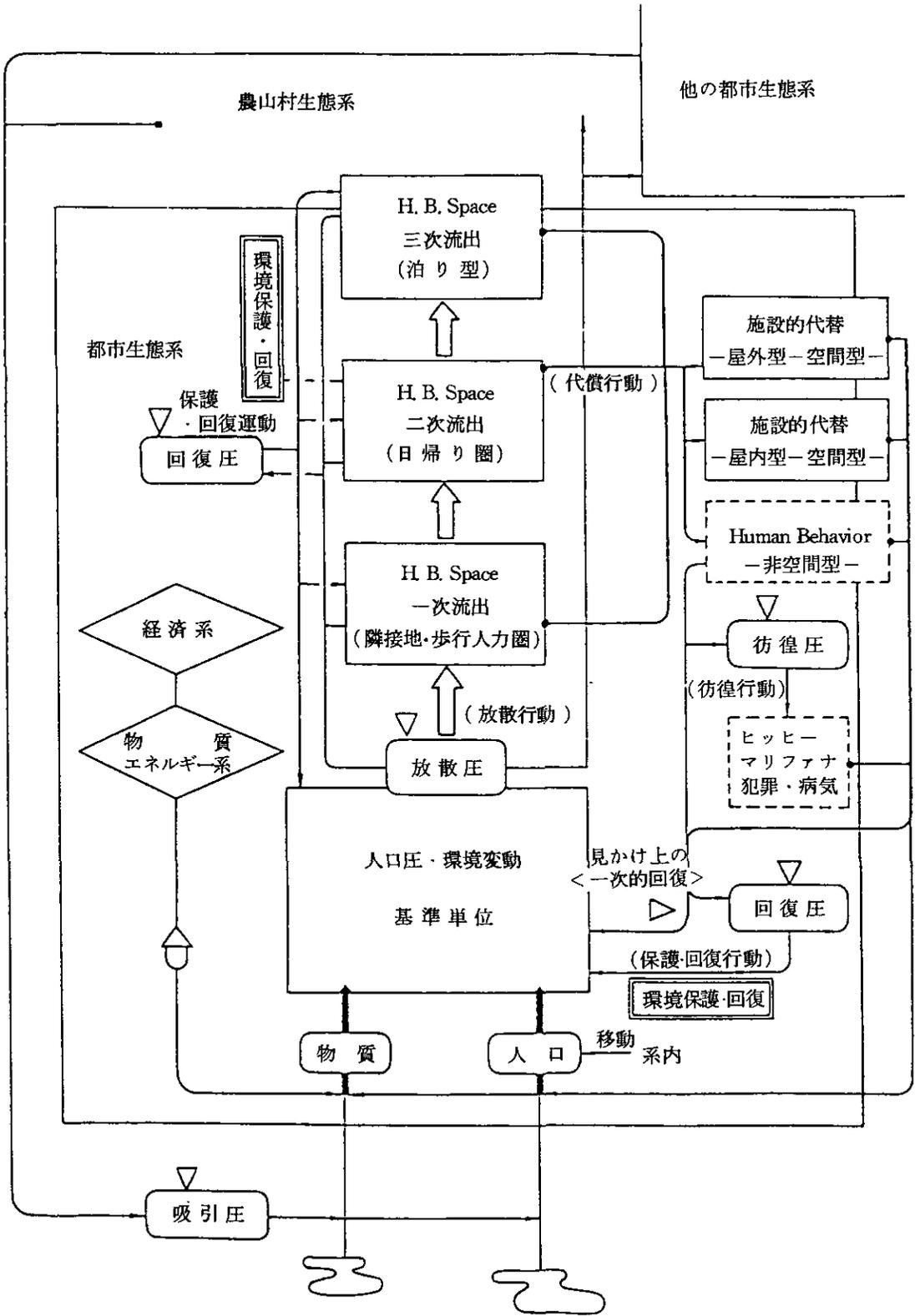


図-4 品田の都市生態モデル (1976. 2品田・立花)

出来ませんことをする人は。

ですが今年の環境庁の環境白書を執筆された方は誰か分かりませんが、どうお考えになっているか、例えばこういう解釈もでてまいりましたね。地球全体をとった場合にどうも日本人がエビを余計食うからタイ国でマングローブの林を切ってエビを養殖しとる。そうすると日本人の適正容量というものは、マングローブの林がだんだん切られていくということを含めて計算しなくてはならない。エビは月に一回とかです、というようなこともやっぱり考えておられるのかもしれない環境庁は、ということです。しかしまあとにかく大変難しいことであります。

それから限界容量としてですね、3種類ある。いわゆる自然の物質還元のcapacity、これは総量規制につながったもので、その当時としてはそれがある役割を果たしてたわけです。加藤さんはこれを一応評価しております。それから品田さんという文化庁の方ですが、都市の都市生態系の擬似自然モデルでやはり人口密度を指標にしましたが、『都市の自然史』という中公新書の中にてしております表現を使いますと、江戸時代からずっとですね、人間の日帰り行動圏というものがどこまで広がってきたかというのを歴史的に調べると、交通機関の発達と無関係にだいたい1km² 1500人ぐらいのところで落ち着いている。つまり人口密度が高まると日帰り行動圏が伸びている。その後へ交通機関がついていく、ということはこの本の中で実証されております。それが都市生態系擬似自然モデルとして、ただ単に1日行動圏だけではなくて、それをいわゆる都市生態型であるとして、翻訳を加藤さんがした根拠は図4です。すでに品田さんが1976年にこの図を書いておられます。その後いろんな研究助成をえてこういう研究をずっと続けられておりますが、この都市生態系ということは人口密度が増えるそうですね、必ずしも日帰り行動圏だけではなくて、そのうちに泊まりがけが起こったり、あるいは代用環境といいますか、朝顔の鉢を植えてみたり、そういうのも全部入ってくるわけです。極端な場合にはLSDを吸ってラリッてみるとか、そういうようなこともひとつの都市生態系としてとらえる。このことだけではピンとこないかも知れませんが、こういう行動をあるいはsemantic differential法を使ったり、あるいは人口密度で評価したりして、外部空間あるいは人工空間について研究を積み重ねておられます。

それから私自身がそこに書いたのではなくて、加藤さんが先程私が申しました潜在廃棄物の蓄積モデルというものを末石がやっているとして下さったわけです。

問題はこれらをいちいち議論しているとキリがない。私も皆さん方の先回の3月16日のシンポジウムの内容には全く同感で、これで環境容量がどんなものがあるかということは打ち切って頂きたいと言うのが本音でございます。もちろんやっただらいいかんということではないんですが、それよりもこれら容量概念を分解して計画材料にもって行くことが大事であるということです。

レジメの2枚めに移ります。基本的に考えた場合に現在の環境計画というのはですね、容量概念から出ておりません。唯一容量概念から出ておるように見えるのが、アメリカで出来上がって日本に輸入されました土地利用適性評価手法であります。盛岡のシンポジウムでの報告にもそのことを少し触れておりますが、問題はですねアメリカでつくられた方法を日本にもってくる時に

張本人のシャピロさんとか磯辺さんなんかが悪かったと私は必ずしも思っておりませんが、その時期、いわゆる EPAができた頃あるいはNEPAができた頃、たくさんのシステム工学の人がNASAから環境の方へなだれこんで来たわけですね。その時多目的手法が出来てきた。それを日本に適用する時に環境のことを勉強していない人がたくさんやった。電気の先生とかね。そういう人達が彼我の土地利用の特性だとか環境の特性をほとんど見ずに、日本の行政にデータを出せと要求された。私の方にも来ました。モデルで計算するからデータをくれとおっしゃるので私は我々と一晩徹夜をしたらデータをやるというふうな条件にしたんですが、その時の適用の仕方というのはかなり誤っておった。IFACの研究の国際会議の中にもそういう論文はたくさんあった。

それで基本的にどうかというとアメリカではですね、グリッド分割をして土地をメッシュに切って、その特性を調査していきますと、もちろんその土地の傾斜とかですね、植生のランクを沢山増やせば、これは確かに日本の土地でも1000種類の土地があるというふうにいえるわけですね。しかしそういう自然度が10であるか9であるかをまで区別して1000種類でてくる場合と、自然植生があるかないかという程度で1000種類の土地特性が出てくる場合とで非常に違うわけです。アメリカのテキストブックなんかみても、そういうことはほんの3行ぐらいしか書いていないんです。

アメリカで例えば流域計画をしようとする時にまずグリッド分割をする。そこに大体1000種類ぐらいの土地特性がある。そこへ人間行動をはりつける場合にはせいぜい50種類だ。だから計画の自由度は極めて高いんだ。その自由度の中で、どれが一番いいかということを考える時に初めてプランナーのセンスが活かされてくるわけですね。日本では10種類ぐらいの特性しかない、森林か都市か。こう言うときと林学の先生から叱られるかもしれないけれど、基本的にいって日本はどこだってみな同じということだと思います。そういう所へわざわざ土地の傾斜を5度とか10度とかいうことを分けてみたとしても、人間活動をおとすときにトレードオフが沢山発生して、いかにも数量的にトレードオフを解くだけで計画が進むかのごとくなる。そんなものでは行政は絶対動きません、ということであります。

ここではなにも土地利用適性評価だけについて言っているのではありませんが、環境計画をやるということは、結局、レジメの2頁めの2つめのパラグラフに”人間活動の受け入れ構造を多層化せよ”と書いていることでありまして、いわゆる境界容量をつくるための構造を沢山つくれという丹保先生のお話との接点はどこにあるのだとお考え頂きたい。だから全区域に下水道をつくるのはもっての外であります。ここは下水道は絶対つくらん。住む人は工夫しなさい。そのかわり下水道におきかわるものについて、もし何か必要であれば補助金を出すとかですね、というふうなことですね。だから合併浄化槽に対して厚生省は補助金を出す。徹底的に二元水道をつくらせよとかですね、いろいろあるわけです。

アメリカにおいてすら似たことはいわれています。このBrian W. Marというのはここに文献の出所を書いておきませんでした。urban ecology というinternational の雑誌、これは今なく

なっているようですが、その中に載っている論文で、carrying capacity そのものを批判しております。どういふのかと言うと人間活動と自然の間ですね、閾値を一つしかとっていないんですね。先の馬野さんのモデルでもそうなんですけど、ある価値観をもってアメリカと言うのは生活しているんだぞ、だから1haあたり0.5人だというのには、そうたくさんの境界構造はない。結局だから carrying capacityを押し進めていけば、人口がバナーと広がってしまって、そしてかえって環境質は下がるのではないか。だから DID(Dead is dead)と書いてあるわけです。Densely Inhabited District ではなくて、死んだものは死んだもんだ、という意味でしょうね。そこをもっと徹底的にということであるわけです。だからといってさっきの話にあるようにそこにエネルギーの過集積をやって、全部リサイクルしたいというわけではないということはもうおわかりのとうりだと思います。

アメリカですらそうなんだから、日本でもし戦略的な環境計画をやるとすれば、基本的には早く分析的研究をやめて計画的に移る必要がある。そこで環境計画にどんなものがあるのかということになるのですが、分析型の研究から転換するのは容易ではありません。現在生物学では DNAまで分析しつくして壁にあたっておるわけです。これは『科学的方法』とは何かという、岩波新書でしたか、中公新書でしたか、長野敬さんがそういうふうに言っております。分解しつくされた DNAをもう一度合成する時に、どんな方法があるのか誰もそれに答えを出してないわけです。

ただし最適点をどうやってみつけるかについては私もわからないわけです。現在のところ後で出てくるRittelとWebberの論文を引用すれば、金と時間と根気と言っております。残っている一生と自分がどれだけ金を使えるか、行政官の方なんかお金に生きているわけですが、それからどれだけ根気があるか、それによって自分の計画の対象とすべきテリトリを決めればよい。だから公害研としても大変しんどいのは、地球の環境、地球のオゾンとかね、そういう分析はそんなに必要ないですよ。しかしその我々がフロンガスを使わないようにすることによって途中で境界容量があって、オゾン層を破壊しないというふうな地球的な規模の計画をする時間と金と根気はあるかということ決めて頂いたらよいわけですね。

ここで設計と計画の違いにふれておきます。工学で通常設計といわれている方法は、多くの場合ただ単にdimensioningに過ぎません。それから計画だと思っているものはしばしば設計の程度であったりします。デザインないし意匠というのが設計だと私は最近考えておりますが、これはしばしばものが対象になっています。限定された空間がある程度与えられておって、その中で計画的なことをやるのが設計です。しかし計画というのは、単純に言えば空間をどれくらいとるかということと、ユーザーあるいは市民のライフスタイルの変更までもが含まれています。

従ってデザインポリシーから計画ポリシーへ拡大するということは大変難しいんですが、基本的に言って最低限これだけのことは言える。先ず価値の設定がいる。価値の設定はどうするか、これは分析型の方から出てくる場合もありますが、基本的にいって哲学、直感、経験である。そ

れから異なる価値の総合化。自動車の設計なんかの場合でしたらね、コンフォタブルネス(comfortableness)とかスピードとか、軽い方がいいだとか、セイフティ(safety)とか、そういうものが価値でありまして、それを総合化すればよいわけです。それぞれの価値には機能が属性としてついています。

それを総合化する時のデザインポリシーには3種類ありまして、まず優先機能を重視する。環境についていえば、従来は健康や公害ということを優先すれば良かったわけでありまして。それは、つまり、公害と経済とは別だということでもいいわけですが。もう一つは、aesthetics、これは非常に難しいことで、余りここでは深入りしませんが、やはり全ての人達、国民なら国民が、その環境のaestheticsを理解するような状況であれば、ある環境プランナーと称する人が代表でつくりあげたら、私それはいいと思っております。イギリスでのある例に、道路のアセスメントをする時にA点からB点へ行く途中に非常にローカルな小さな町ですが、そこの画家がですね、たくさんの絵を書いた地点というのがあるんだそうです。そういう事に従ってそこを通すのをやめたという。こういうのが一種のaestheticsであろうと思います。皆がそこの画家を支持しているのです。高い値で売れるわけでは必ずしもないと言うことですね。そういう状態をaestheticsと考える。

それからもう一つは、これはデザインについて言っているので環境計画には少しあたらなかもわかりませんが、evolution いわゆる計画技術、本来の計画技術の進化の過程上にのっていかねばならない。それをどうして判断するかというのがstate of the art、したがってstate of the art of planning です。これはまだ十分研究はできておりません。evolution の判断の第二はconsumer acceptance であって、consumer acceptance をつくりあげるためにまだまだ大変なことがある。アメリカの例では、EPAのconsumer acceptance の補佐官(Mr. A. Alm)がエネルギー庁へ移って原子力発電問題に取り組んだ実例が既にあります。evolution の第三がmodel test です。model testというものは、例えば風洞実験するというようなものですが、計画の場合のmodel testはなかなかできないわけですね、これは必ず社会実験を伴うわけですので。しかし現実には社会実験は沢山やられているはずですので。従って計画に関する社会実験を公的に認めさせるような政策が必要だと考えております。

それから tame problem と wicked problem というのは、結局計画というのはトランプゲームのようにはっきりしたルールがあって勝ち負けがはっきり決まる tame problem でなくwickedだということです。都市計画でもそうですので環境計画では特にそうなので、だからあるところを切除すると別の所へ問題が転移する、そういう状態をwickedというわけです。そういう問題だから、要するにそのことを全て前提とした上で計画をしなければなりません。そこで根気と時間と金ということが出てくるのです。

そこで計画にどの位の類型があるかという話に移ります。私が先程挙げたような例を含めてですね、aesthetics型の計画というのはいい。それから基準型というのはい日本でも成功したい

いわゆる環境基準型の計画です。しかしこれは世界的にも評価されているけれどもこれからも有効であるとは限らない。

それから人工施設型というのは、これも少し古くなりましたが、我々の環境を全て人工施設で置き換えてやろうというタイプでありましてこれもlocalには可能でしょうが、将来はこれだけで成立するということは多分無いでしょう。しかし従来、都市を全部風船の屋根で覆って、その下を空調しようというふうな街路計画もたくさんの人によって論ぜられております。

生態型(1, 2)のうち生態型1というのは先の丹保先生のeの話であります。それから生態型2というのは、Eの中で考えようということですね。島津康男先生の表現を借りますと、生態系1というのは人工施設型では多分できまい。炭酸同化作用まで人間がつくり出すことはできまい。であるならば、それが出来るようになるまでは、自然を完璧に保全しましょうという態度になります。この場合も環境容量は0になるわけですね。生態系2という方はエコロジカルプランニングとか、あるいは都市生態系という枠組などいろいろあるんですが、先ほど私は環境の社会システムはまだ無いと申しあげましたね。社会システムとは社会の中の要素がそれぞれ相互関係をもっている状態の総体を言うわけですから、今そういうものは無い。生態系にあるようなもちつもたれつの関係がない。ないのであるならば都市計画の際に自然の生態系を少し真似ようということになるわけです。現在の文部省の重点領域研究の人間環境系の中で都市生態系という班ができていますのもそういうことでもあろうと思います。

最後は自己組織型です(表2)。最近Varelaという人に私は凝っているんですが、数学者がこ

表 2 他律型と自己組織型の比較

Autonomy vs Allonomy

(Ref./Francisco J. Varela: Principles of Biological Autonomy, Elsevier/North Holland, 1979)

	allonomy	autonomy(自己組織系)
observer	outside of system	immersed in
paradigm	control/design	epistemology
elucidation	Erklärung	Verstehung
purpose	instruction representation	information-constructive viability-codependent
information	computer gestalt	in-formare(in-velop)
questions	structural patterns	semantic correspondence
performance	input/process/output	moralistic term, cognitive performance, complementarities

ういうことを言い出しているのですね、自己組織系が数学的表現でできるということに特長があるんですがそんなこと私はどうでもいい、現在社会学も自己組織系にもすごくラブコールを送っております。我々住民の一人一人が、その環境のプランナーになっているような状況で世の中が作動しはじめていますと、従来プランナーだと思っているような人は動機づけをするだけでいいわけですね。あるいはメディエーションをするだけでいい。あるいは支援するだけでいいというような形になってまいります。従って、環境計画を従来の都市計画のやり方をするのではなくて、環境教育や社会教育あるいは法律の問題、環境法の新しい作り方の問題さらには補助金のつけ方の話も先ほどしましたが、環境経済のシステムのつくり方の問題というようなことだけを、上手に誘導して行けば自己組織型の環境計画が進むのではないだろうか。その場合にインフォメーションそのものの定義についてもいろいろな問題があるということになります。

次に環境計画モデルの簡単な類型化をしてみます。表3のようにエコノミーとエコロジーの3段階ずつをとりまして、目標はⅢ-Ⅲへもってくることです。現在提案されておりますありとあ

表 3 環境計画モデルの枠組

エコノミー エコロジー の認識	I 節約	II 経済合理性	III 生態制約型 経済
I きびしい 自然	I - I 狩猟社会	I - II	I - III 総量規制 社会
II 外部環境 としての利用	II - I	II - II 費用-便益 モデルなど	II - III 開放型循環 モデル
III 生態系の 認識	III - I 非経済型 安定社会	III - II 亜閉鎖型 循環モデル	III - III 閉鎖型多重 循環モデル

らゆる環境計画モデル、あるいは環境経済モデル、コストベネフィットモデリングは多分Ⅱ-Ⅱの範囲を出ておりません。経済については経済合理性が目標であり、それから環境または自然については外部条件としてこれを利用している。まあ都合のいいところだけ利用するという形になっております。この前のシンポジウムで北畠佳房先生がフィッシュとフィッシャリーの関係の経済モデルを出しておられますが、これも大分工夫しないとⅢ-Ⅱには来ない。

ついでに経済と環境のⅠの段階に少しふれておきます。エコノミーのⅠは節約です。人口や労働すら節約するんです。アンデスの農業をみていますと、人が真っ直ぐ立って棒でトンと地面についてですね、上からポロとトウモロコシの種を蒔く。かがんだり絶対しない。だから特に人口を増やす必要もない。そういう節約から脱皮して、ようやく我々はあくせく働くようになってきたのがエコノミーのⅡです。エコロジーのⅠでは、人間はあえて自然に入りこまないのですが、

Ⅱではさきほど言ったように利用する立場で、Ⅲがいわば生態型2に当たります。例えば、非経済型の安定社会Ⅲ-Ⅰの代表作の一つが京都の料理です。ごく僅かの材料です、皿と料理人と客が一体になっている。それでたくさん金をとる。明らかにこういう経済合理性なんて全くないわけですね。だから、そういう文化スタイルをつくることによって一種の経済環境を作っている。Ⅰ-Ⅲの生態的経済というのは、宇沢弘文さんなんかしょっちゅう言っているように、経済を環境に合わせるということです。我々の環境容量がかつてはその言葉だけで総量規制が動いたということでもし有るならば、これは素晴らしいものでありまして、自然関連容量規制社会となるわけです。ただし総量規制の場合も経済学的なおとし穴があるわけでありまして、永久にサケ・マス漁業の交渉みたいなことをやっておられんわけですね。過去のとり分に比例してお互いにこう規制しあうという以上の方法がありません。

結局、真の環境-経済社会ということはⅢ-Ⅲの多重循環型でありまして、このモデルも現に経済学者が提案しているのがあります。それから北島さんがやっておられるようなモデルも、工夫すればここに来ますとも言えます。私にはまだ書けていません。さっき丹保先生のスライドの中にありました蛇がトグロを巻いているような絵だけを議論してましてもⅢ-Ⅲができるわけではないので、もう少し小さなところに目を移したいというのが、最近私の考えであるわけです。年とって残り時間が少なくなったからかもわかりません。

基本的には、先程の丹保先生のおっしゃった水の問題とエネルギーの問題ということには気がついておりますので、北島さんも若干評価をして下さっておりますwater analysisは現在ここまでできました。図5のように琵琶湖・淀川流域給水区域の都市を50とりまして、最終的には産業関連のデータの関係で滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県にしかならないのですが、例えば耐久消費財を生産・消費することに関連して発生するCODの出発府県別汚濁集約度(図6)をみてみますと、滋賀県の中にCODを発生して生産をした耐久財が大阪へこれだけ向いている、というわけですね。それに対して大阪府では淀川の水を使って生産した耐久消費財は大阪でCODを発生して滋賀県へこれだけしか行っていない。勿論人口比は1:7位ですから、こういう状況でいいのかもわかりませんが、食料品なんか見ますとこのアンバランスが際だっていることがわかるわけです(図7)。こういう因果連鎖を問うということも必要なのです。

今の話は図8のうちこの辺のことをいっているわけです。水集約度情報として水資源と汚染の両方を見ているわけですね。もう一つは、先程のエネルギーの問題がありまして、人間活動がエネルギー集約度を介して都市熱環境につながります。ただしこれだけで判断するのは極めて難しく、温度が何度上がったらいかんのか。熱環境が悪くなると殺人なんかも起きるそうなんです、今急にそういうことでは計画ができないので、もう一つ冷却用水と環境用水を考えると、水循環計画の立て方についてエネルギーシステムがバイアブルかどうかという判断があります。これは既に数年前に修士論文で計算させたんですが、年率5%以上で水循環を強化してまいりますと、その設備の製作・運転のためのエネルギーのためにまた水がいる。その水のた

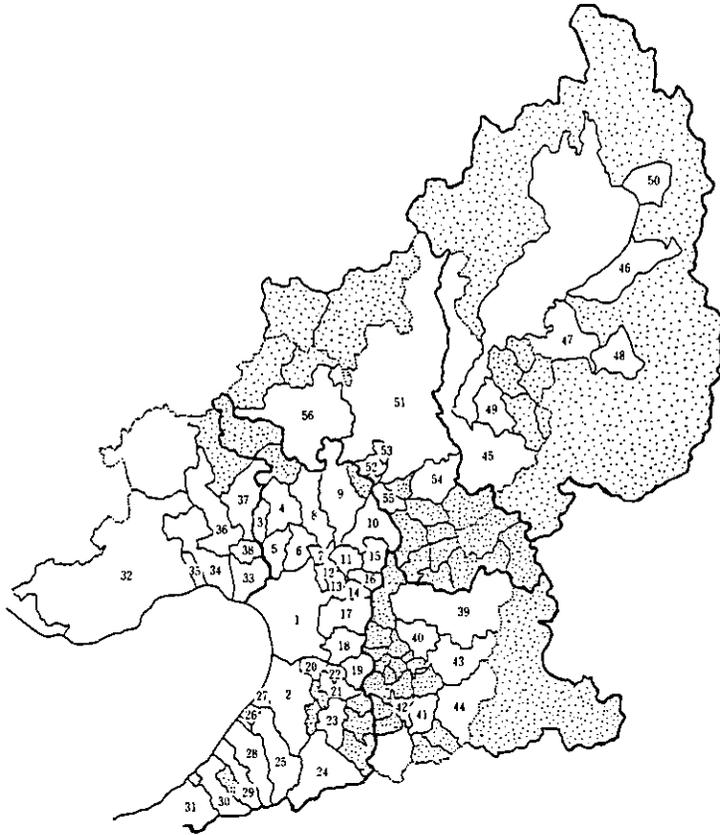


図 5 琵琶湖・淀川給水地域内の人口5万以上の都市

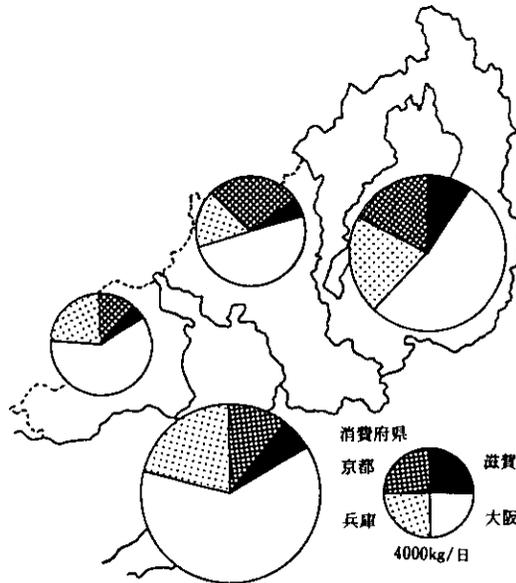
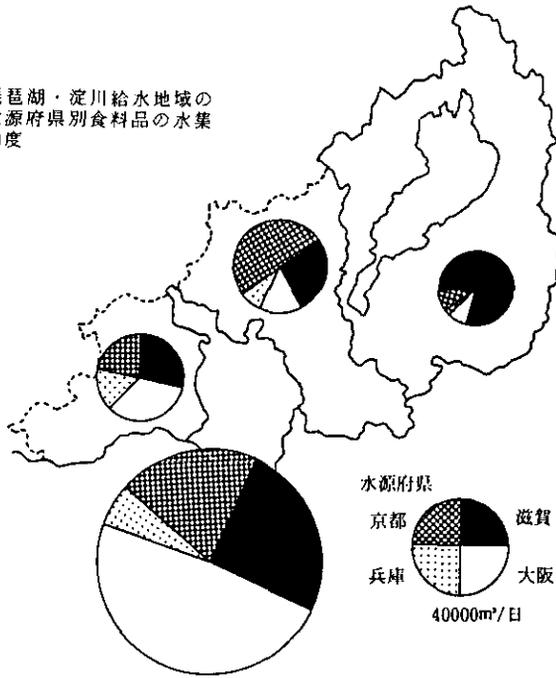


図 6 琵琶湖・淀川給水地域のCOD負担府県別耐久財の汚濁集約度

(a) 琵琶湖・淀川給水地域の
水源府県別食料品の水集約度



(b) 琵琶湖・淀川給水地域の
消費府県別食料品の水集約度

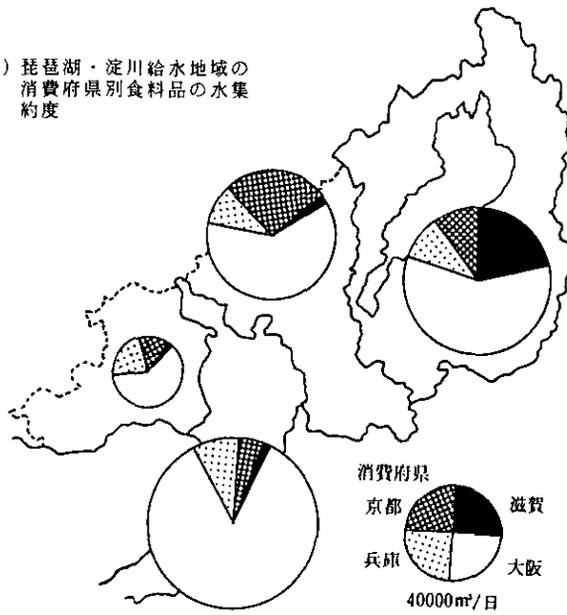


図 7 食料品の水集約度の連関

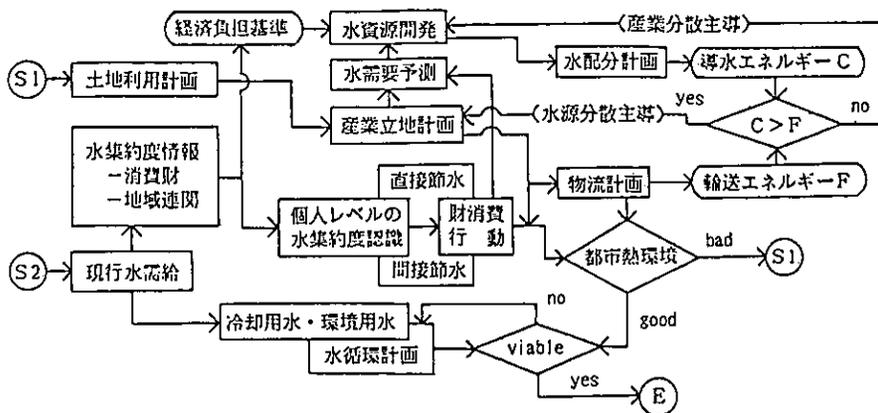


図 8 水集約度を基礎とした水資源計画

めにまたエネルギーがいるというような連鎖がありまして、ほんとは5% /年の割合で循環水を欲しいから年率5%増で循環するわけですね。ところがそのために投入の物質が増えてきて、結局必要な民生用の水が出てこない。こういうことが起こるわけです。そうしますとどの程度の速度でこの循環を上げていくかというプランが必要なのです。例えば大阪あたりで有名な話で、かつての石油ショックの時に下水処理場の汚泥を燃やすためには石油は回らなかった、そういうこともあるわけです。

この絵(図8)はまだポンチ絵でありまして、これを科研費の重点領域で研究するのが私の課題なんですけど、どこに定量的なファクターを入れることができるか、現在の社会のどこに隙間があるかということについて、熱に着眼するというのが一つのポイントなんです。現在、熱行政というのは誰もやっていない、ということをご記憶頂きたいと思います。都市の鉛直の方向を太陽と緑と舗装と地下水とでつないだ縦軸の熱管理はなんらなされておられません。

次に最小単位の因果連鎖としてこういうことも可能であります。これはDenverの近くのBoulderという町で、ここに湖があるんですが、zero dischargeをやっているわけですね。環境容量のIは0だというふうに考えれば、zero dischargeは何もおかしいことはない。この町の約100戸にpurecycleというシステムが入っているわけです。これは私JETROの名簿を捜しあてて見に行きました。大した技術ではない。回転円板、限外濾過、活性炭吸着、イオン交換、紫外線殺菌、貯留、それで水洗便所の排水までも全部飲んでおります。1981年にこの町に50戸ありました。これはですねトリハロメタンの問題を市民が知っておりまして、それから水は硬水なので掃除なんかには困る、柔らかい水(軟水)が欲しいという要求のもとで、あるバイオケミストが会社を起こしまして、その地元の銀行が300万ドルの出資をしたわけですね。5年間ほど研究して会社を起こした。ちょっと最近の情報を得ておりませんが、その社長のいわく決してこのシステムを急速に普及させようとは思っていない。欲しいというところにしか売ってやらん、こういうことであります。

これは、直径が20cmほどの回転円板ですね、全体で半坪ほどの物置の中に入っております。1981年当時の円一ドル関係で 250万円です。これ、銀行の出資率はかなりきいているわけです。ただしエネルギーが大変いります。普通通常の中流家庭の電気使用量の倍になったということで、ご想像いただければ結構と思います。しかしこれはそこの住民の人がそういうものを選択しているわけです。

今日は講演をということなので、こういう写真をもってきました。私が水を頂戴したところがあります。おいしかったです。トリハロメタンの分析値は 1ppb でありました。水を2杯飲みましたので、減らしましたねと申し上げましたら、チョッと返してこいということで、それで0.K.であります。もちろん煮炊きしますと減りますね。ですからビールでも補えますし、牛乳も買ってくるから丁度バランスしている、こういうふうな話でありました。水道局当局は何も言わんのかと聞きますと、今はそんなものを超越してやっているということだそうであります。

ただですね、この種のシステムが日本ではどうなるかということについて、私は社長と議論しました。日本では個人単位には多分成立すまい。しかし私は日本では今なら個人単位で成立すると思うんですね。お父さんのおしっこは入っても大丈夫。しかしお父さんのおしっこが入っているのは娘は飲まんと言い出したらこれはもうアカンわけであります。日本ではもうすこし大規模にこれを使うべきでないかというのが、私の提案であります。コミュニティ10軒程度なら余計不安でしょうね。ピアノ殺人などが起こりうる日本社会では隣の親父のが飲めるかといった話になる。しかし私はそこが大事だと思うんです。ここで水を良くするのにscientificにやっているわけですから、ただ単なる物なんですね。ところが京都で出した水は大阪で平気で飲んでいるということであればですよ、日本でどうすべきかという意味での判断を、大阪府あたりにしはしば言ってます。これは御堂筋ですが、こういう浄水場ビルを御堂筋ぞいにつくりたい。これはまあ大阪府の枚方の高層浄水場をすっぽり埋めたモンタージュですが、こんなに大きくなくていい。まあ大阪市は高度浄水をやるかやらんか言ってやや決断しかねているんですが、全市一度にやろうとするからいかなので、こういう町の中心から手をつかまして、ただしそれはあなたがたが出した水ですよ、と言うことを説得する、いわゆる計画的なポリシーが必要であろうと思います。

問題は連鎖の中間項でありまして、これは『環境学への道』に書いておきましたので見て下さい。先ほど DIDモデルでも言いましたように、人間活動と自然の間の閾値が一つしかなければ計画はできません。たくさんの境界構造を作る。例えば、慢性気管支炎の有症率とNOx の関係でも潜在患者率、道路率、エンジンのNOx の排出率、自動車保有率など10数項目が中間に介在するのです。これは亡くなられた華山謙さんの本（『環境政策を考える』）に従って作ったのですが大事なことは、multipurpose-multilevelの制御モデルについて、今のところこれが一番おもしろいなと思うMesdarovicのモデルとも共通していることでもあります。

もう少し小規模になりますが非常に大切な因果の例をお示しします。東横堀川の上に阪神高速が走っている。これはかなりうまくとった写真なんです。こういうものは上下対称（実物と水面

に映る橋脚)左右のシンメトリにするしかしょうがない。これも敢えて言うのだけれども、境界領域の一つなんでありまして、こういうコンクリートと塩ビのトイという非常になじみのわるいテキスチャを我々市民が平気で見ている。ここで私はいつもこれらのメーカーの悪口をいうわけです。こんなトイを開発したの誰だと。それからトイの先のところをよく見ますと、コンクリートの肌が真黒になっている。当然高速道路の表面のもろもろの汚濁物を雨天時に川にたれ流しをしているわけです。それでこういうことを容認したままで、大阪市の河川局かどうかは知らんけれども、下流の道頓堀川に繋がっているわけですね。道頓堀で噴水を出して見せたりするわけです。しかしこの川を誰も見ていない。新聞記者はここへ魚が出てきますと、酸素が足りないから上がってきているのに魚が帰ってきた、というふうに言う。実は大阪の電通は水の宣伝の映画をつくる時には、必ずこれを題材に使います。いわゆる環境センスの無さ、こういうことがですね。案外私は身近な環境容量を、境界部分を増やしていくポイントだと思っています。

次は東京の非常にいい例です。烏山寺町(世田谷区)にお寺が沢山あります。この池があったためにお寺は下町から移転して来たのに池の水が枯れてしまいました。その原因の一つが、ここに合流式下水道がついたことだ。それでそのことに気付いたお寺の方々が、もちろんある大学教授が指導に入っているんですが、普通ならトイの水は下水道に繋げないといけないんですね。けどこういうこと(トイの水をいったん寺紋入りの青銅の鉢にうける)をすることによって、下水道には繋がんといいことを始めたわけです。防火用水にも使えます。このあふれた水をそのまま流し地下にしみこみます、ということです。

このお寺は大改造をするついでにいわゆる浸透式の溝をつくっています。トイは全部はずしました。京都の寺なんかみますと、郊外の寺では昔からこういうことやっていたのが今もそのままになっています。あたりまえのことなんです。こういう幅1mもある大きなものを造ったことがこのお寺のユニークさであると思います。

いくらかのお寺では、このように地下水水位計を持っているんです。それから降雨計を分担している寺もあるんです。このデータは世田谷の区役所にいっているわけです。区役所はそのデータを分析して時々アドバイスをしてくれる、ということになっているそうです。そして池の水が戻ってきた、ということなんです。こういう状況を空間的に造りあげる、案外私はこういうことが必要だと思うんです。

レジメの一番最後に書きましたように、現在私は社会システムにかなり凝っております。凝っているというより凝りかけておるんですが、とにかく社会学の本を読みますと非常に新鮮でありまして、特に大事なのは、どうも社会システムについて議論する時のキーワードは役割概念そのものと家庭という単位の新しい社会的役割のようでございます。例えば廃棄物一つについても、某県某市ではせっかく住民の人が分別収集の運動をやっているのに、分別収集をするには及ばず混合で出さないとするのはもっての外であります。世の中に起こっている現象を環境計画のキーエレメントと対比をしてもらって、それからそれらが境界構造をつくりうるものであるかどうか

かということを検討して頂いて、そして現在は過渡期の過渡期でありますので、地域住民の役割、現在の家庭にこれはあるのかどうか、その以前の問題か、これが社会の定着した役割か、ということの評価をするということがこれから有意義ではなかろうか。ちょっと舌足らずな点がありまして、また中間項と中央調整システムとの関係なども省略してしまいましたがお許し願いたいと思います。

第1回環境容量シンポジウム参加者氏名一覧

氏名	所 属	氏名	所 属
相崎守弘	国立公害研究所 水質土壤環境部	外岡健夫	茨城県 内水面水産試験場
青柳みどり	同上 総合解析部	内藤正明	国立公害研究所 総合解析部
天野耕二	同上 水質土壤環境部	中杉修	同上 総合解析部
安部喜也	同上 計測技術部	中西弘	山口大学 工学部土木工学科
伊野昂	水戸保健所	中野正博	北海道大学 工学部
井上隆信	国立公害研究所 水質土壤環境部	中村誠	茨城県 内水面水産試験場
石橋良信	東北学院大学 工学部土木工学科	野内孝則	同上
稲葉一穂	国立公害研究所 水質土壤環境部	野原精一	国立公害研究所 生物環境部
稲森悠平	同上 水質土壤環境部	花木啓祐	東京大学 工学部都市工学科
今岡和務	広島大学 工学部	八戸治昭	北海道漁業団体公害対策本部
今田史夫	北海道立水産孵化場熊石支場	林紀男	北海道教育庁文化課博物館準備室
浮田正夫	山口大学 工学部土木工学科	林陽	茨城大学 工学部情報工学科
宇都宮陽二朗	国立公害研究所 環境情報部	原沢英夫	国立公害研究所 総合解析部
海老瀬潜一	同上 水質土壤環境部	日野幹雄	東京工業大学 工学部土木工学科
大井一紘	同上 環境情報部	平田健正	国立公害研究所 水質土壤環境部
大坪国順	同上 水質土壤環境部	福島武彦	同上 水質土壤環境部
小川吉雄	農林省 農業環境技術研究所	古米弘明	九州大学 工学部
尾崎保夫	同上	細見正明	国立公害研究所 水質土壤環境部
梶原成元	環境庁 水質保全局	松森賢治	農林省 農業環境技術研究所
春日清一	国立公害研究所 生物環境部	宮下衛	国立公害研究所 生物環境部
加瀬林成夫	茨城県 公害技術センター	向井哲	同上 水質土壤環境部
川那部浩哉	京都大学 理学部動物学系	村岡浩爾	同上 水質土壤環境部
北嶋佳房	筑波大学 社会学系	村上正孝	同上 環境保健部
國松孝男	滋賀県立短期大学 農業部	村野健太郎	同上 大気環境部
合田健博	摂南大学 工学部土木工学科	盛岡通	大阪大学 工学部環境工学科
小松正博	大阪府 水質課	森沢拓	筑波大学 環境科学修士
小坂田康一	北海道 公害防止研究所	森田恒幸	国立公害研究所 総合解析部
桜井善雄	信州大学 繊維学部	矢木修身	同上 水質土壤環境部
佐竹研一	国立公害研究所 計測技術部	柳川民夫	鹿児島県 環境センター
柴原藤善	滋賀県 農業試験場	山野一幸	同上
宗宮功	京都大学 工学部衛生工学科	山本達也	大阪府 環境保健部環境局
高村健二	国立公害研究所 生物環境部	山本哲也	茨城県 公害技術センター
高村典子	同上 生物環境部	山本秀正	環境庁 水質保全局
高瀬秀臣	茨城県 内水面水産試験場	吉見洋	神奈川県 公害センター
滝和夫	千葉工業大学 工学部土木工学科	若松伸司	国立公害研究所 大気環境部
橋治	北海道大学 工学部衛生工学科	渡辺信	同上 水質土壤環境部
多田満洋	国立公害研究所 生物環境部	脇田安彦	鹿児島県 環境センター
津野	京都大学 工学部衛生工学科		

環境容量セミナー参加者氏名一覧

氏名	所 属
青柳 みどり	国立公害研究所 総合解析部
相崎 守弘	同上 水質土壌環境部
天野 耕二	同上 総合解析部
稲葉 一穂	同上 水質土壌環境部
稲森 悠平	同上 水質土壌環境部
井上 隆信	同上 水質土壌環境部
今井 章雄	同上 水質土壌環境部
内山 裕夫	同上 水質土壌環境部
鶴野 伊津志	同上 大気環境部
海老瀬 潜一	同上 水質土壌環境部
大井 紘	同上 環境情報部
大槻 晃	同上 計測技術部
大坪 国順	同上 水質土壌環境部
小川 吉雄	農林省 農業環境技術研究所
尾崎 保夫	同上
乙間 末広	国立公害研究所 総合解析部
甲斐沼美 紀子	同上 総合解析部
金谷 健	同上 総合解析部
河合 崇欣	同上 計測技術部
末石 富太郎	大阪大学 工学部
高松 武次郎	国立公害研究所 水質土壌環境部
滝 和夫	千葉工業大学
丹 保 憲仁	北海道大学 工学部
内藤 正明	国立公害研究所 総合解析部
中野 根毅彦	筑波大学学生
野田 清敏	北九州市役所
原 沢英夫	国立公害研究所 総合解析部
福島 武彦	同上 水質土壌環境部
藤田 八暉	環境庁 水質保全局
増島 博	農林省 農業環境技術研究所
松井 晋治	東邦大学 理学部学生
松森 賢治	農林省 農業環境技術研究所
溝口 次夫	国立公害研究所 計測技術部
向井 哲爾	同上 水質土壌環境部
村岡 浩	同上 水質土壌環境部
森田 恒幸	同上 総合解析部
吉野 孝弘	国立公衆衛生院
若松 伸司	国立公害研究所 大気環境部
渡 辺 信	同上 水質土壌環境部

[昭和63年9月22日編集委員会受理]

[国立公害研究所資料 F-3-'88/NIES]

第1回 環境容量シンポジウム
—環境容量の概念と応用—

問い合わせ先：水質土壌環境部水質環境計画研究室 海老瀬潜一

昭和63年12月15日発行

発行 環境庁 国立公害研究所
〒305 茨城県つくば市小野川16-2

印刷 谷田部印刷株式会社
住所 茨城県つくば市大字谷田部1979-1