

学際研究を視点にした流域管理モデルの試行 とGISの応用

Multi-disciplinary Research for River Basin Management by using GIS

大西 文秀
Onishi, F.

キーワード： 流域管理、流域環境容量試算、学際研究、GIS、エコロジカルプランニング

要約： 近年、地球規模の環境問題に対応するために森林資源や集水域の学際研究に期待が高まり、研究成果の社会への還元が急務となりつつある。本研究では、ヒトの活動の集積と自然がもつ包容力の定量的な関係をはかることを目的として、集水域を系とした環境容量の概念を設定し、数理モデルと地理情報システム（GIS）により、3大都市圏における流域環境容量を試算した。また、集水域の階層構造や、環境要素が持つ環境性と資源性の関連や変動構造の解明を進め、学際的な流域管理モデルを試行した。環境容量の試算モデルは、CO2固定容量、クーリング容量、生活容量、水資源容量、木材資源容量の5指標を設定し、環境情報と科学知識の統合により構築した。これらの試みは新たな環境計画を支援する情報やシステム構築の一助になるものと考えられる。

Abstract: This study intends to satisfy the goal, which imposed on the environmental planning such as “The sustainable development”. From the standpoint of ecological planning, quantitative cognition of interrelationship between blessing of nature and favor of scientific technology and also demand of man is important for this goal. For this purpose, five parameters such as 1) Capacity of CO2 fixation, 2) Capacity of cooling, 3) Capacity of space, 4) Capacity of water resource, 5) Capacity of wooden resource are assumed in this study, and the environmental capacity and mechanisms of fluctuations of environmental capacity of river basin as Eco-system on the three metropolitan areas in Japan are analyzed by using mathematical modeling and also

Geographical Information System.

Keywords: River Basin Management, Environmental Capacity of River Basin, Multi-disciplinary Research, GIS, Ecological Planning

1. はじめに

近年、地球規模の環境問題に対応するために森林資源や集水域の学際研究に期待が高まり、研究成果の社会への還元が急務となりつつある。本研究では、ヒトの生活の場（ハビタット）であり、エコシステムとしての集水域におけるヒトと自然の定量的な関係の解明を進めることにより、持続可能な社会を目指すための新たなライフスタイルや計画手法の実現に向けた環境情報とシステムの創造を目標とした。

具体的には、自然生態系と人間生態系の視点から、ヒトの活動の集積と自然がもつ抱擁力の定量的な関係をはかる指標として、集水域を系とした流域環境容量の概念を設定することにより、数理モデルの構築と地理情報システム（GIS）を用い、生活空間としての首都圏、近畿圏、中部圏の3大都市圏における集水域の環境容量を試算した。また、集水域における空間の階層構造や自然環境要素が持つ環境性と資源性の関連や環境容量の変動構造の解明を進め、学際的な流域管理モデルを試行した。

本研究により、生活の場としての地域生態環境の一つ一つの特性や容量の定量的把握が進められ、集水域の上流と下流域など地域間の相互依存の関係や、集水域と支流の階層構造、河川の連続性による影響圏の予測、また地域環境の改善により期待される効果について、さらに、環境に直接影響を与える環境計画などの諸活動やライフスタイルの新しいあり方について、ヒトと自然、また、自然生態系と人間生態系の視点から学際的な認識と検討が可能になると考えられる。これらの成果により、エコロジカルプランニングを目指す環境計画において、環境情報のプラットフォームの構築、情報管理、環境評価、ミチゲーション、また合意形成等のためのシステム構築の一助になるものと考えられる。以下に本研究の概要を示す。

2. 環境容量の概念構成と定量化手法の検討

環境容量は、ヒトの活動の集積と自然の包容力の関係を示すものとして概念設定した。土地利用状況、森林状況、降水状況や人口などの自然環境量の関数と、CO₂の固定構造や森林資源の成長構造、降水の地中への浸透構造、食糧の生産構造などの科学的な関数、また、人間のライフスタイルや環境関連技術などの技術水準等による一人当たり負荷量の関数の3関数により構成するものとした。図1には環境容量の概念構成を示す。

環境容量の定量化試算は、「環境知識」と「地域環境情報」を直接結合させた「環境容量試算モデル」を設定し行った。

解析単位は、エコシステムとしての自然空間単位の導入を基本とし、1級水系を基本とした集水域区分とその支流区分による環境単位を設定した。

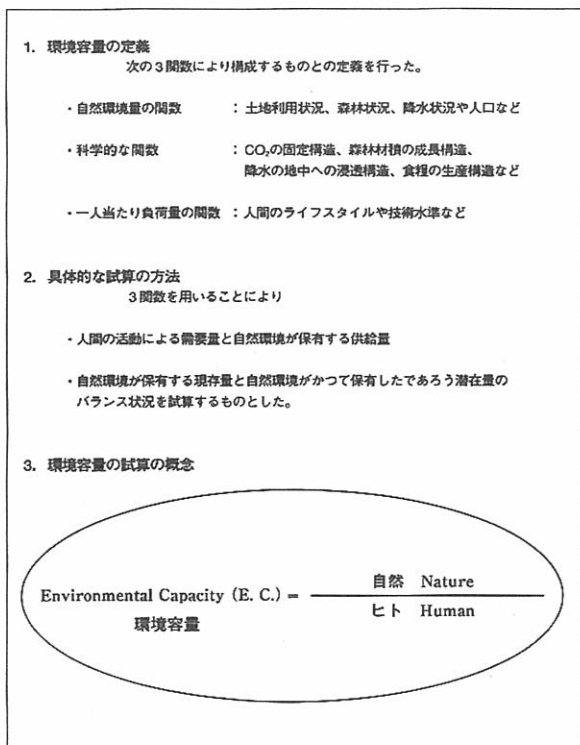


図1. 環境容量の概念構成

環境容量の試算指標は、地球環境保全のうえで重要視され地域計画的手法により改善が可能と考えられる指標であるとともに、環境の構成要素のなかで高位に位置し改善により多面的な効果が期待できるものを対象とした。具体的には「CO₂固定容量」、「クーリング容量」、「生活容量」、「水資源容量」、「木材資源容量」の5つの機能を環境評価指標として設定した。図2には環境容量の5指標の構成を示す。

環境容量の試算モデルは、環境単位内の1人当たり放出量や需要量を基本とした需要量と自然環境が保有する供給量や潜在量と現存量のバランス状況を試算するものとした。

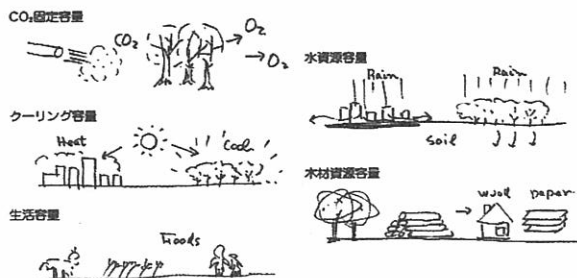
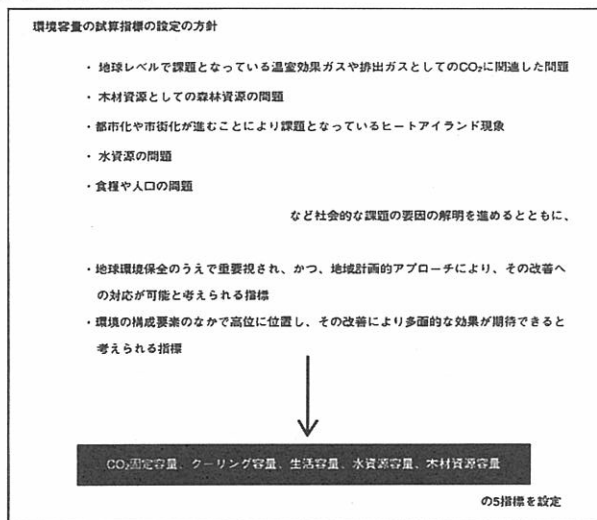


図2. 環境容量の5指標の構成

3. 地理情報システム（GIS）による環境容量の試算モデルのシステム化

環境容量の定量的な試算の考え方をもとに、地理情報システム（GIS）を用いて環境単位の設定や地域環境データの収録および試算指標の原単位値データなどのデータベースの構築を行った。

試算地域は、近畿圏、首都圏、中部圏の3大都市圏とし、解析単位は1級水系を基本とした集水域区分、支流区分、および、自治体区分の3区分とし、集水域の階層構造に対する解析を可能にした。本試算で設定した環境単位は、近畿圏では集水域区分34単位、支流区分116単位、自治体区分394単位。首都圏では集水域区分28単位、支流区分124単位、自治体区分550単位。中部圏では集水域区分32単位、支流区分117単位、自治体区分459単位である。図3には解析例として中部圏での解析単位の設定を示す。

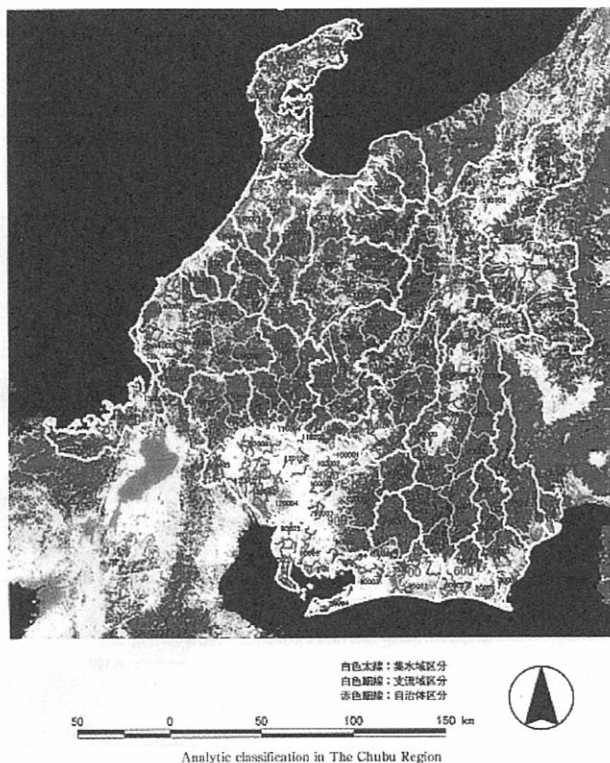


図3. 集水域による環境単位の設定（中部圏）

地域環境データは居住人口、年間降水量、森林蓄積量、土地利用別面積など一般統計情報や国土数値情報をデータベース化した。原単位値は、「気候変動枠組条約国別報告書調査」、「吉良竜夫の研究」、「日本の水資源」、「木材需給累年報告書」などを用い算出し設定した。

環境容量の試算年次は、1990年とし、後述する考え方により表1に示す数値モデルを構築し試算した。

表1. 3大都市圏における環境容量の試算モデルの構成

1. CO ₂ 固定容量： 固定量/放出量	$\frac{\text{環境単位内森林蓄積量 (m}^3\text{)} \times 3.0 (\%/\text{年}) \times 145\% \times 0.5 (\text{トン}/\text{m}^3) \times 1.6 (\text{トン}/\text{トン})}{9.51 (\text{トン}/\text{人}\cdot\text{年}) \times \text{環境単位内居住人口}} \times 100$
2. クーリング容量： 現熱吸収量/ 潜在熱吸収量	$55.0 - \frac{\text{樹林系面積} \times (-63.0) + \text{水面系面積} \times (-31.6) + \text{草地系面積} \times 18.8 + \text{構造物系面積} \times 55.0}{\text{環境単位全面積}} \times 100$ $55.0 - (-63.0)$
3. 生活容量： 自給人口/現人口	$\frac{\text{環境単位内可耕地面積、可住地面積}}{9.25 (\text{アール}/\text{人}) + 2.25 (\text{アール}/\text{人}) + 5.0 (\text{アール}/\text{人})} \times 100$ 環境単位内居住人口
4. 水資源容量： 水源供給量/ 水需要量	$\frac{(\text{年間降水量} - 600\text{mm}) \times \text{森林系面積} \times 0.8 + (\text{年間降水量} - 840\text{mm}) \times (\text{樹地系面積} \times 0.7 + \text{草地系面積} \times 0.6 + \text{水面系面積} \times 0.2 + \text{都市系面積} \times 0.1)}{735 (\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}) \times \text{環境単位内居住人口}} \times 100$
5. 木材資源容量： 供給量/需要量	$\frac{\text{環境単位内森林蓄積量 (m}^3\text{)} \times 3.0 (\%/\text{年}) \times 70\%}{0.92 (\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}) \times \text{環境単位内居住人口}} \times 100$

[CO₂固定容量] 環境単位でのCO₂の放出量と固定量の試算によりその需給量の関係を基本とした。放出量は、1人当たり放出量に環境単位内の人口を乗じることにより試算した。固定量は、森林蓄積量をもとに森林資源における光合成による固定量を数値化した。

[クーリング容量] 環境単位が本来森林に覆われた状態で有した冷却容量が、地表面の形態の変化によりどのような変化をきたしたか、冷却容量の変化の試算を試みた。つまり、土地利用別の排熱吸収量をもとに環境単位での放散熱量の現況値と潜在値を算出し、そのバランスを数値化した。

[生活容量] 人間の自給生活に必要な生産緑地面積と都市空間面積の視点からその空間容量を算出することを基本とした。本試算では、可耕地面積と可住地面積を基本に一人当たりの必要面積をもとに環境単位での自給可能人口と現況人口との関係を数値化した。

[水資源容量] 環境単位での潜在的な利用可能な水資源量と総水需要の関係を基本とした。潜在的な水資源量は水資源賦存量を基本に水分浸透指数により土地に浸透する量を試算した。また、水需要量は一人当たり水利用量に環境単位内の人口を乗じ試算した。

[木材資源容量] 環境単位での木材資源の需要量と森林材積の成長による供給量との関係を基本とした。材積の成長量は森林蓄積量をもとに試算した。また、需要量は一人当たり木材利用量に環境単位内の人口を乗じ試算した。

データの入力と処理は、解析単位は国土地理院が整備した「数値地図25000」を用い「ARC/INFO」によりGISのデータ単位であるカバレッジを作成し設定した。環境データのデータベース化は国土数値情報や各種統計書を活用し「EXCEL」により構築した。解析単位であるカバレッジとデータベースとの結合は「ArcViewGIS」で行った。また、データベースを用いた演算は「EXCEL」、「ArcViewGIS」の双方で行った。

4. 3大都市圏における環境容量の試算と比較分析

本章では、前章で構築したシステムにより、3大都市圏における環境容量の現況値の試算を行い、環境容量とその分布状況を明らかにするとともに3大都市圏での比較分析を試みた。なお、本章では解析結果の概要として、次

の3指標について3大都市圏での比較分析の解析結果を示す。図4にはGISによる解析例として3大都市圏におけるCO₂固定容量の解析結果を示す。

[CO₂固定容量]

圏域全体では、首都圏、近畿圏、中部圏の容量は2.3%、5.1%、8.8%となり、非常に低い容量と言え、人間によるCO₂放出量が森林によるCO₂固定量を大幅に上回っていると考えられる。一方、集水域区分による環境単位で捉えると、放出量が固定量を上回ると考えられる100%未満の単位の圏域面積比は首都圏で97.0%、近畿圏で90.4%、中部圏では100%に達し、圏域人口比は首都圏で100%、近畿圏で99.5%、中部圏では100%にも達する。また、固定量が放出量を上回ると考えられる環境単位は中部圏では存在しないが、首都圏では150 km 圏域の一部に存在し、近畿圏では100~125 km 圏域の一部に存在することが明らかになった。

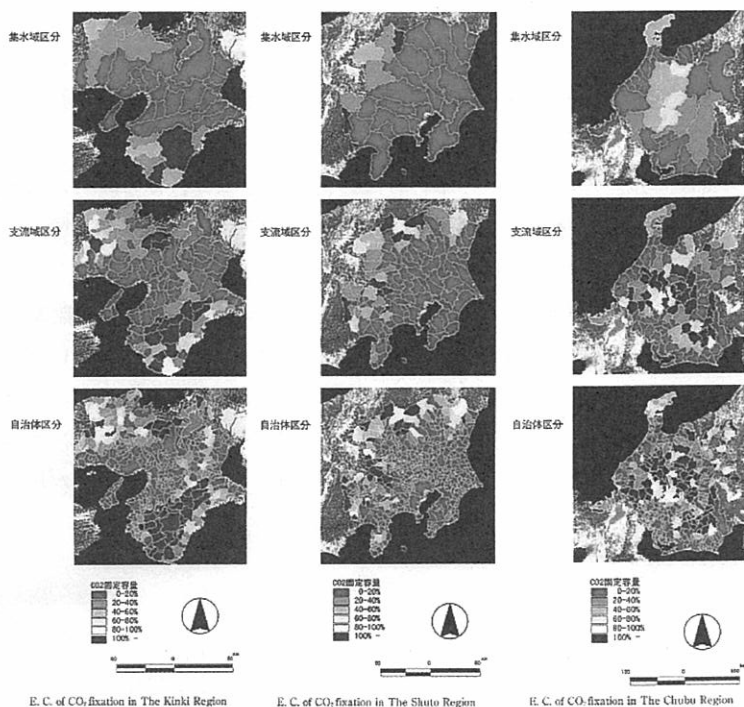


図4. 3大都市圏における環境容量の解析例 (CO₂固定容量)

[クーリング容量]

圏域全体では首都圏、近畿圏、中部圏の環境容量は、それぞれ、72.5%、84.3%、85.4%となり、排熱域を上回ることから圏域全体では吸熱域と考えられる。一方、集水域区分による環境単位で捉えると、排熱域と考えられる環境単位の圏域面積比は中部圏では存在しないものの、首都圏で3.1%、近畿圏で2.0%とわずかであるが存在する。しかし、圏域人口比は首都圏で31.5%、近畿圏で22.9%にも達することが明らかになった。また、これらの排熱域は近畿圏では基点が属する大阪市を含む中心市街地の属する環境単位だけであるが、首都圏では50 km 圏域まで及ぶことが明らかになった。

[水資源容量]

圏域全体では首都圏、近畿圏、中部圏の環境容量は74.4%、181.4%、435.2%となり、首都圏では自給可能な容量を下回っていると言える。自給バランスの取れる100%以上の集水域区分による環境単位は圏域面積比では首都圏で63.7%、近畿圏で82.9%、中部圏で93.8%と高い割合を示すものの、圏域人口比では首都圏で18.8%、近畿圏で31.2%、中部圏で65.2%にすぎない。容量が100%以下となる環境単位は首都圏では100 km 圏域にまで及んでいるが、近畿圏と中部圏では50 km 圏域に集中していることが明らかになった。

以上の解析結果より、同基準による3大都市圏での環境特性の把握が可能になると同時に、人間活動によってもたらされる需要量と自然環境が保有する供給量や潜在量のバランス状況の理解が可能になったと考えられる。しかし、試算結果を見ると、3大都市圏とも容量値は予想以上に低く、環境悪化の状況を裏づける結果となったが、特にその状況は首都圏で顕著であることを示すものとなった。また、集水域の支流による細分化により、その階層構造や影響圏域に対する認識も可能となった。図5には集水域の階層構造の解析例として中部圏における天竜川水系での階層構造を示す。

5. 環境容量の変動構造に関する分析と予測試算

環境容量の変動構造を分析するため、琵琶湖・淀川水系と大和川水系を解析地域とし1975年と1991年の2時期での比較試算を行った。図6には琵琶

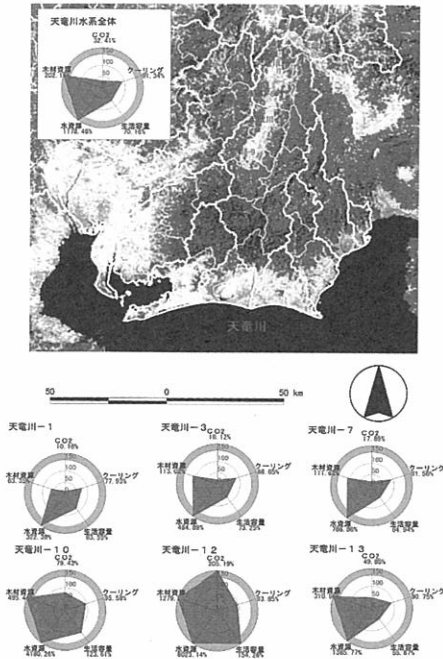
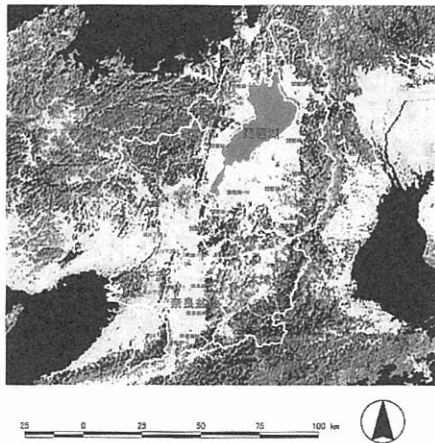


図5. 集水域の階層構造の解析例（中部圏、天竜川水系）

変動解析の地域概要

琵琶湖・淀川水系・大和川水系



Outflow and composition of analytic area on the Yodo River basin and the Yamato River basin

図6. 琵琶湖・淀川、大和川水系での解析単位の設定

湖・淀川水系と大和川水系における解析単位を示す。CO₂固定容量と水資源容量の2指標を対象として、原単位値の変化率、環境容量の2時期比較、容量の変動率、および、予測試算について次の解析結果を得た。

[原単位値の変化率]

CO₂総放出量では、年平均で約2%、一人当たり放出量では約0.9%と共に増加傾向を示し、総水需要量では、年平均で約0.3%の増加を示すが、一人当たり水需要量は約0.4%の減少傾向を示した。

[環境容量の2時期比較]

CO₂固定容量は、支流区分では60%、集水域区分では80%の環境単位で増加した。増減率の平均は支流区分で3.3%、集水域区分で0.3%であった。地域的には桂川水系の上流域で51.1%、琵琶湖水系の北西部で9.2~6.4%、木津川水系の上流と中流域で15.0~5.6%の増加を示した。この現象は、CO₂の一人当たり放出量が増加したにも関わらず、森林での蓄積量の増大によりCO₂固定量が増大したことによるものであると考えられる。しかし、全体的に容量値は低く、特に都市化の進んだ淀川水系の下流域や耕地化の進んだ奈良盆地では、容量値は向上傾向が認められず0%に近い値で推移した。

水資源容量は、支流区分で73.3%、集水域区分で60%の環境単位で減少した。増減率の平均は支流区分で-17.0%、集水域区分で-29.4%と大きな減少傾向を示した。これは、一人当たり水需要量が減少したにも関わらず、土地利用の都市化により降水浸透機能が低下したことで居住人口の増加によるものと考えられる。減少幅も100%以上が支流区分で2単位、50%以上が集水域区分で2単位、支流区分で4単位におよび、琵琶湖水系の南西部と南東部、木津川水系の上流の盆地、桂川水系の中流域で372.7~62.9%と大きな減少幅を示した。集水域区分では1975年においても木津川水系の371.7%、琵琶湖水系の322.3%のみが100%以上を示し水源としての機能を持っていることを示したが、1991年では琵琶湖水系で268.5%、木津川水系で289.0%に低下し、供給域であった地域での都市化が進み供給余力の低下現象が明らかになった。

[環境容量の変動率と予測試算の解析結果]

CO₂固定容量の変動率を支流区分での環境単位で見ると、減少傾向の強い上位5単位での年間減少率の平均は琵琶湖水系の南西部と南東部、奈良盆地水系の西部、木津川水系の上流の盆地など約0.09%、同じく、水資源容量では琵琶湖水系の南西部と南東部、木津川水系の上流の盆地、桂川水系の中流域、木津川水系全域などで約9.72%となった。図7に解析例としてCO₂固定容量と水資源容量の環境容量の変動率の地域分布を示す。

この状況が今後も続いたと仮定した場合、1991年時点において保有され

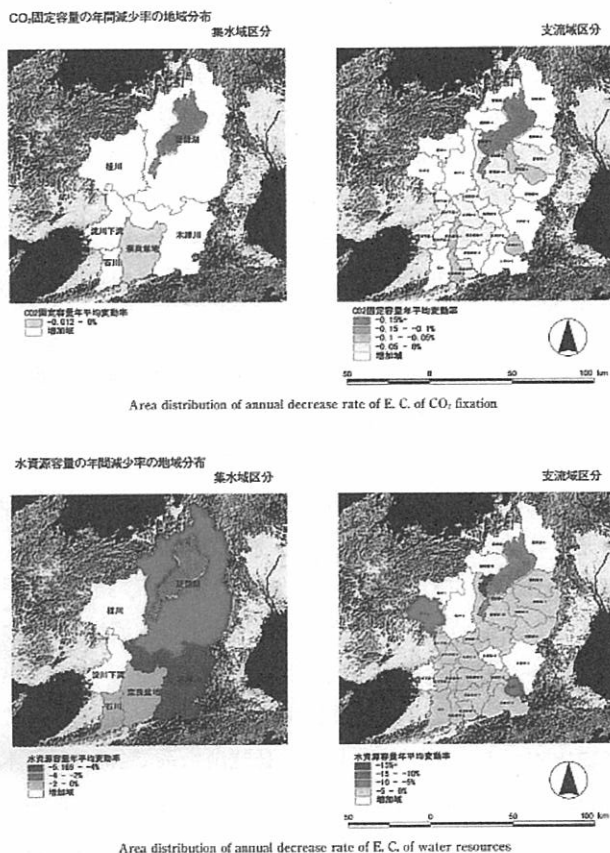


図7. 琵琶湖・淀川、大和川水系での変動解析例 (年間変動率、CO₂固定容量、水資源容量)

ていた環境容量が消滅することに要する期間は、減少傾向の著しい環境単位の上位5単位の平均では、CO₂固定容量では奈良盆地水系の西部、琵琶湖水系の南西部と南東部などで約36.4年、水資源容量では奈良盆地水系の北西部、木津川水系の上流の盆地域や下流域、琵琶湖水系の南西部と南東部などで約25.2年と予測できる。この傾向は河口域を中心に既に見られる都市化による環境容量の低下現象が内陸部の集水域の下流域や盆地地域にも急速におよんでいることを示している。

以上の原単位値の変化率や森林蓄積量と土地利用形態の変化を用いた環境容量の変動試算から、自然環境量の減少や人口の増加は環境容量そのものの減少を招くとともに、ライフスタイルの変化や産業構造の変化などによる負荷単位や負荷頻度の増加は単位負荷量の増大を招き、結果として環境容量の減少を招くことを定量的に示したことによって、資源と環境の密接な関係の解明の必要性を示唆するものとなった。また、環境容量の変動の構造については、単位負荷量と自然環境量の相互関係により異なった形態を示すことが明らかとなり、変動構造の解明も重要な視点であることが示唆された。

6. 研究の成果と今後の課題

環境容量の把握は、近年、人間活動の規模やその集積の巨大化にともなう環境問題を背景に、その必要性がうたわれていたが定量的把握には限界があり、地球規模でのグローバルモデルや特定の生物を対象にしたテリトリーモデルなどマクロスケールとミクロスケールの両極端の展開にとどまっていたと考えられる。

本研究では、以上のスケールの間中に位置し、人間の生活や活動の直接の場であり人間が直接体験する地域生態環境に対し、環境容量の定量試算モデルの開発を試みた(図8参照)。具体的には、3大都市圏をケーススタディ・エリアとし、環境容量の試算モデルのシステム化を進めた。これにより、同基準によるエリア内の環境特性の把握が可能になると同時に、環境容量の変化予測機能や集水域の細分化による環境単位の階層構成のモデル化が可能となり、影響圏域に対する試算も含めたダイナミックな環境資源に対応したシステムへの展開の可能性とその必要性を示すものとなった。

すなわち、生活の場（ヒューマンハビタット）としての地域生態環境の一つ一つの特性や容量を定量的に把握することが可能になるとともに、地域生態環境間の相互依存の関係や地域生態環境の改善により期待される効果について、また、地域生態環境に直接影響を与える地域計画や都市計画、建築計画などの諸活動、あるいは、ライフスタイルなどのあり方について、各スケールを通じて環境容量の視点から一貫した検討が可能になるものと考えられる。さらに、図9に示すように、環境容量の変動構造の分析により、インパクトによる環境容量の変化予測を定量的に可能にしたことにより、従来、定性的、感覚的になされてきた地域生態環境への影響予測が定量的に把握できるようになる。このことによって、環境に対するインパクトの低減を定量的に予測することが可能となり、環境と共存した計画や技術の実現、また、環境教育の一助となるものと考えられる。

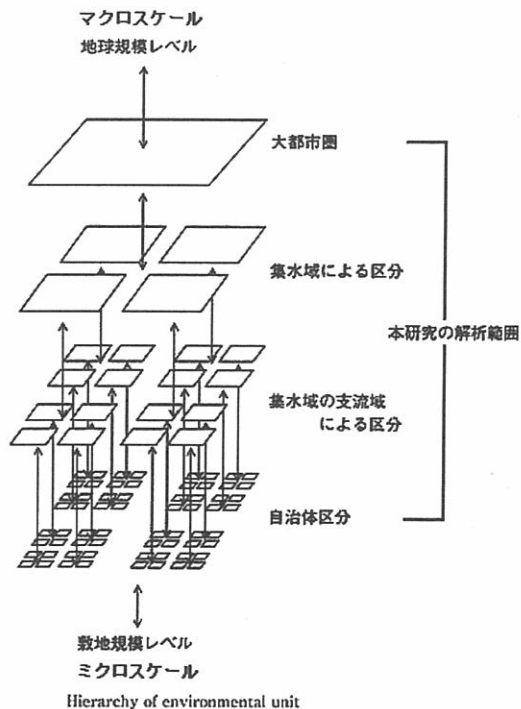


図8. 学際研究としての本研究の領域

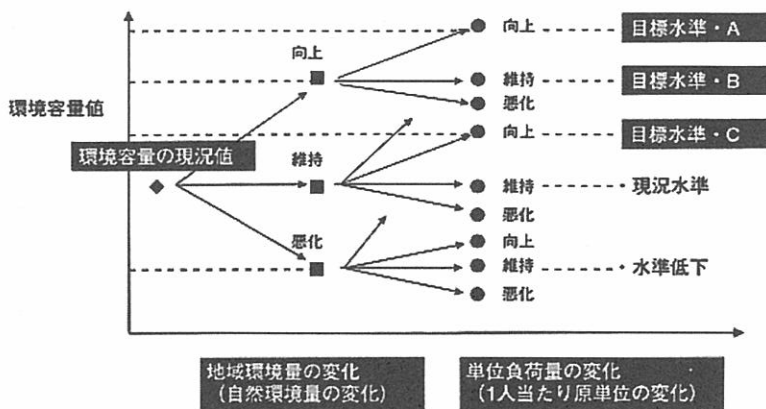


Image of change factor, change course and goal of E.C.

図9. 環境容量の変動経路の概念

参考文献

- 大西文秀 1999. 集水域を基調とした環境容量の概念形成と定量化および変動構造に関する基礎的研究、博士(学術)学位論文、大阪府立大学、216pp.
- 大西文秀 2002. もうひとつの宇宙船をたずねて、- Operating Manual for Spaceship River Basin by GIS -、遊タイム出版、159pp.
- 大西文秀 2003. 集水域を系としたGISによる3大都市圏での環境容量の試算、日本陸水学会第68回大会講演要旨集、48-49、日本陸水学会。
- 大西文秀 2003. 集水域を系としたGISによる3大都市圏での環境容量の試算、21世紀型社会のデザインツールとしてのGIS、4-13、東京農工大学21世紀COEプログラム。
- 大西文秀 2004. もうひとつの宇宙船をたずねて、- Operating Manual for Spaceship River Basin by GIS -、BIO-City27号:103、ビオシティ。
- 大西文秀 2004. 近畿圏におけるGISを用いた集水域研究と学際研究への応用、日本景観生態学会第14回広島大会発表論文集、56、日本景観生態学会。
- 大西文秀 2004. 琵琶湖・淀川、大和川水系におけるGISを用いた集水域研究

と学際研究への応用、日本景観生態学会第14回広島大会発表論文集、57、日本景観生態学会。

大西文秀 2004. 学際研究を視点にした流域管理モデルの試行とGISの応用 - Multi-disciplinary Research for River Basin Management by using GIS - 、第12回地球環境シンポジウム講演論文集、185-190、土木学会。

大西文秀 2004. 集水域から見たヒトと自然、第16回バイオリーション分科会要旨集、地理情報システム学会バイオリーション分科会。

大西文秀ら 1995. 集水域を単位とした環境容量を求める新しい試み、環境情報科学、24-1:59-71、環境情報科学センター。

大西文秀ら 1997. GISを用いた地域環境容量の3大都市圏比較、GIS学会講演論文集、6:119-204、地理情報システム学会。

大西文秀ら 1998. 淀川水系、大和川水系での地域環境容量の変動に関する基礎的研究、ランドスケープ研究発表論文集、61-5:737-742、日本造園学会。

田中和博 2000. バイオリージョン研究とGIS、システム農学、16(2):109-116、システム農学会。

和田英太郎 2003. モンゴル：環境立国の行方、- 自然と人間の関係から - 、科学、545-548、岩波書店。

吉岡崇仁 2000. 地球環境変化に対する陸水の応答 - 集水域研究の重要性 - 、陸水学雑誌、61:95-100、日本陸水学会。