

42. 流域圏を視点にした水資源容量の試算と GIS の活用

－わが国の大都市圏における流域環境容量の試算を通して－

A STUDY ON THE WATERSHAD ENVIRONMENTAL CAPACITY OF WATER RESOURCES ON THE THREE METROPORITAN AREAS IN JAPAN USING GIS

大西 文秀*

Fumihide ONISHI

ABSTRACT; In recent years, there has been a pressing need to address the decrease of fresh water resources. Quantitative recognition for water resources and human water consumption are necessary to achieve this aim. The Watershed Environmental Capacity of Water Resource factor was analyzed based on the estimated amount of available water resources in comparison to the amount of human water consumption. The amount of available water resources was computed from the amount of precipitation that penetrated into the water table. And, the fluctuation of Environmental Capacity of Water Resource was calculated in Lake Biwa- Yodo River basin and Yamato River basin.

KEYWORDS; fresh water resources, human water consumption, environmental capacity, watershed, GIS

1 はじめに

世界人口の急激な増加や地球規模での気候変動により、多くの国で水資源の不足が発生し、食糧生産や自然生態系の維持、また健康で衛生的な生活用水の利用に大きな影響を与えている。一方、近年におけるわが国の食糧自給率や木材資源の自給率は極めて低く、これら資源の生産には輸入元での膨大な水資源が消費されていることも事実である。従って、わが国における水資源量と水需要量について再考することは、地球レベルでの環境問題の認識や改善にとって極めて重要と考えられる。

本研究では、国土管理において重要性が再認識されている「流域圏：Watershed, River Basin」を解析単位として、わが国の3大都市圏における総水需要量と降水の地中浸透を対象にした水資源量の定量試算を基本に、その関係を水資源容量として捉え、数値モデルと地理情報システム（GIS）を用いて試算し地域分布を明らかにした。また、近畿圏における琵琶湖・淀川、大和川流域を解析地域として、2時期における水資源容量の変動試算を行い、変動状況や変動構造の解明を進めた。

2 水資源容量の概念構成と定量化手法の検討

2.1 水資源容量の概念構成

環境容量の概念構成については、「学際研究を視点にした流域管理モデルの構築と GIS の応用」（大西 2004、第 12 回土木学会地球環境シンポジウム講演論文集、185～190、土木学会）に示す様に、ヒトの活動の集積と自然の包容力の関係を示す指標として、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、系・System としての生態系をモデル化している。

水資源容量はそのひとつであり、土地利用状況、降水状況や人口などの自然環境量の関数と、降水の地中

* * 株式会社 竹中工務店 プロジェクト開発推進本部 E-mail:ohnishi.fumihide@takenaka.co.jp
TAKENAKA CORPORATION, Project Development & Promotion Department

への浸透構造の科学的な関数、また、ライフスタイルや環境関連技術などの技術水準による一人当たり水需要量の関数などの3関数により構成するものと概念設定した。具体的には、環境単位における降水の地中浸透量の試算による潜在的な利用可能水資源量と人間活動による水需要量の関係を示す指標とした。次項に定量化についての考え方を示す。

2.2 水資源容量の定量化手法の検討

本試算では、環境単位での水資源の需要量と潜在量を試算し、その需給バランス量を試算することを目標にした。このため、環境単位での潜在的に利用可能な水資源量と、総水需要の関係を究明することを基本とした。潜在的に利用可能な水資源量は、水資源賦存量を基本に考え、その賦存量のうち土地に浸透する量をその対象とした。土地に浸透する量は、図-1に示すように、水分浸透指数（松井・岡崎編著、1993）を用い、「植林地：0.9」、「普通畑：0.7」、「公園・草地・裸地：0.6」、「宅地：0.3」、「田園・水面：0.2」、「都市：0.1」を設定し試算し

た。したがって、現在稼働中の水源用ダムの働きや集水域を超えた水資源の取水、また、水資源の反復利用による影響は除外するものとし、平水年での降水に対し、環境単位がもつ潜在的な「水資源涵養機能」と需要量の試算を行った。

需要量は、わが国の総水需要量と総人口より、1人当たり需要量を試算し、環

境単位内の人口を乗じることにより、総水需要を試算した。1人当たり水利用量は「日本の水資源」（水資源白書、国土庁、1983、1995）と「国政調査結果」（総理府、1990）を用い試算した。

日本の水資源では、わが国の水需要について、「農業用水需要」、「工業用水需要」、「家庭用水需要」、「都市活動用水需要」の合計による総水需要量を示している。本試算では、総水需要量をその年次の人口で割り、「735トン／年」と設定した。また、潜在量は、年間降水量（平水年）を基本に、「蒸発による損失量を山地部で600mm、平地部で840mm」とし、環境単位での水資源の需要量と潜在量を試算し、その内の浸透量を潜在量と想定し、土地利用ごとの水分浸透能指数を乗じ、潜在量の試算を行った。

試算地域は、首都圏、近畿圏、中部圏のわが国における3大都市圏とし、1級水系を基本とした集水域区分と流域区分及び自治体区分の3区分を解析単位とした階層モデルを設定した。試算年次を1990年とし、GISを用い解析し地域分布を明らかにした。また、水資源容量の変動プロセスを探るため、近畿圏における琵琶湖・淀川、大和川水系において1975年と1991年の比較試算を試みた。

3 地理情報システム（GIS）による水資源容量の試算モデルのシステム化

上記の考え方をもとに、表-1に示す水資源容量の試算モデルを構築した。モデル式の中の分母では、総

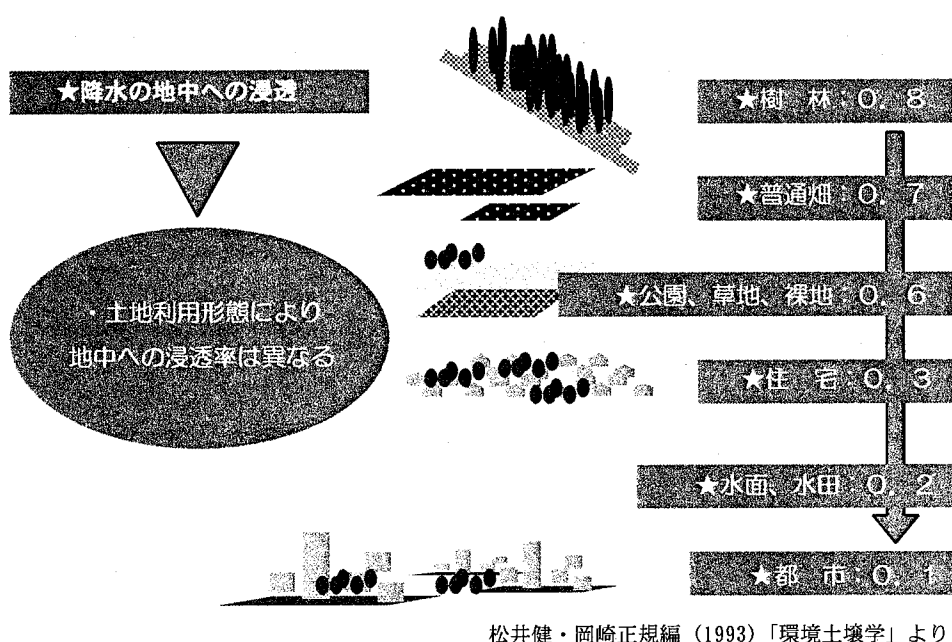


図-1 土地利用別の降水浸透指数の設定

水需要量を試算した。1人当たり需要量に環境単位内の人口を乗じ求めた。分子は、年間降水量を基本に土地に浸透する量を取り、水需要量と潜在的な水資源量の需給関係の定量試算を基本とした。定量試算は、前項で示した科学的知見である「環境知識」と「地域環境情報」を結合させた「環境容量試算モデル」を設定し試算した。

試算地域は、首都圏、近畿圏、中部圏の3大都市圏とし、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、それを細分化した支流区分、および自治体区分の異なったスケールの3階層の流域管理モデルを設定した。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。

試算年次は、1990年と設定した。上記環境単位での試算を行うために、地理情報システム（GIS）と国土数値情報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。地域環境データは、「気候値メッシュファイル作成調査」、「国土数値情報」、「国政調査結果」を用いデータベースを構築した。

データの入力と処理は、地理情報システム（GIS）のアプリケーションソフトである、「ArcInfo」、「ArcViewGIS」、および、「EXCEL」を活用し行った。

表－1 水資源容量の試算式の設定

水資源容量： 水源供給量／ 水需要量	$\frac{(\text{年間降水量}-600\text{mm}) \times \text{森林系面積} \times 0.8 + (\text{年間降水量}-840\text{mm}) \times (\text{畑地系面積} \times 0.7 + \text{草地系面積} \times 0.6 + \text{水面系面積} \times 0.2 + \text{都市系面積} \times 0.1)}{735(\text{m}^3/\text{人} \cdot \text{年}) \times \text{環境単位内常住人口}} \times 100$
--------------------------	--

4 3大都市圏における水資源容量の試算結果

図－2には水資源容量の試算結果を示す。

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100km圏域にまで及んでいるが、近畿圏と中部圏では50km圏域に集中していることが明らかになった。

4.1 近畿圏における水資源容量

集水域区分での試算結果は、平均値が1017.4%、最大値が6884.4%、最小値が3.7%、また、支流区分での試算結果は、平均値が2352.6%、最大値が45613.4%、最小値が1.2%を示した。

地域的には、水資源容量は地域格差の大きい分布となった。大阪湾と伊勢湾に流入する集水域で容量は低い傾向にある。需要量が上回る環境容量が100%未満の環境単位は、集水域区分では、淀川下流、泉州地域、猪名川水系、石川水系、奈良盆地、武庫川水系、桂川水系、安濃川水系、六甲地域など9単位であり、集水域区分の26.5%にあたる。また、支流区分では、淀川下流域、泉州地域、猪名川水系、加古川水系、武庫川水系、六甲地域、奈良盆地水系、石川水系、市川水系、紀ノ川水系、桂川水系、木津川水系、琵琶湖水系、揖保川水系、案濃川水系、愛知県境地域、など、28の環境単位におよび24.1%に達している。また、自治体区分では126の環境単位で見られ自治体区分の32.0%に及んでいる。

4.2 首都圏における水資源容量

集水域区分での試算結果は、平均値が 1408.1%、最大値が 29315.2%、最小値が 1.4%、また、支流区分での試算結果は、平均値が 1050.6%、最大値が 29315.2%、最小値が 1.4%を示した。

地域的には、首都圏においても水資源容量は地域格差の大きい分布となった。東京湾と相模湾に流入する集水域で容量は低い傾向にある。

需要量が上廻る環境容量が 100%未満の環境単位は、集水域区分では、東京・川崎、鶴見川水系、江戸川水系、三浦半島、利根川中流、印旛川水系、荒川水系、多摩川水系、利根川下流、相模川水系、霞ヶ浦水系など 11 単位であり、集水域区分の 39.3%にあたる。

また、支流区分では、印旛川水系、霞ヶ浦水系、鬼怒川水系、久慈川水系、江戸川水系、荒川水系、三浦半島、相模川水系、多摩川水系、鶴見川水系、笛吹川水系、渡良瀬川水系、東京・川崎地域、那珂川水系、利根川下流、利根川中流、など、38 の環境単位におよび 30.6%に達している。また、自治体区分では 273 の環境単位で見られ自治体区分の 49.6%に及んでいる。

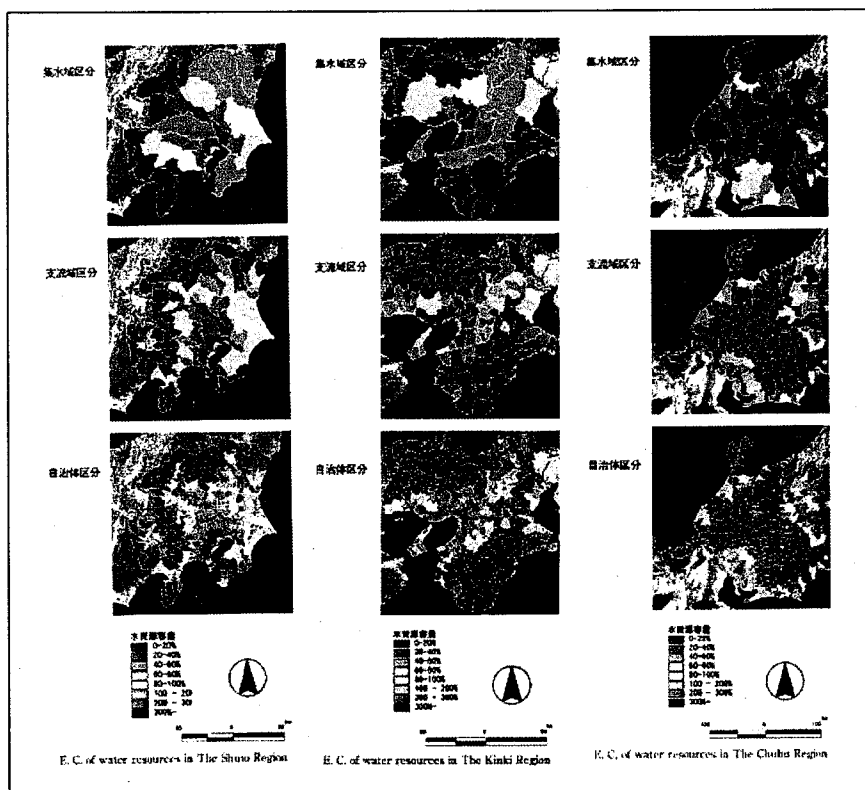


図-2 水資源容量の試算結果（3大都市圏・3階層）

4.3 中部圏における水資源容量

集水域区分での試算結果は、平均値が 1092.8%、最大値が 5568.2%、最小値が 15.8%、また、支流区分での試算結果は、平均値が 5931.3%、最大値が 108417.8%、最小値が 4.5%を示した。

地域的には、中部圏においても水資源容量は地域格差の大きい分布となった。伊勢湾に流入する集水域で容量は低い傾向にある。需要量が上廻る環境容量が 100%未満の環境単位は、集水域区分では、濃尾平野、庄内川水系、浜名湖水系など 3 単位であり、集水域区分の 9.4%にあたる。また、支流区分では、庄内川水系、千曲川水系、太田川水系、大井川水系、濃尾平野、浜名湖水系、富山平野、豊川水系、木曽川水系、矢作川水系など、17 の環境単位におよび 14.5%に達している。また、自治体区分では 117 の環境単位で見られ自治体区分の 25.5%に及んでいる。

5 琵琶湖・淀川、大和川水系における水資源容量の変動試算

前項での 3 大都市圏における水資源容量の試算結果をふまえ、わが国における公害の発生や資源消費の形態、国土利用の形態やライフスタイルなどの変化による水資源容量の急激な変化の状況を捉えるために、近畿圏における代表的な集水域であり大阪、京都、奈良の主要都市の立地基盤である、琵琶湖・淀川水系と大和川水系を解析地域として、1975 年と 1991 年の二時期での比較試算を行った。水需要量の変動、水資源容量の 2 時期比較、水資源容量の変動と予測について次の解析結果を得た。

5.1 水需要量の変動

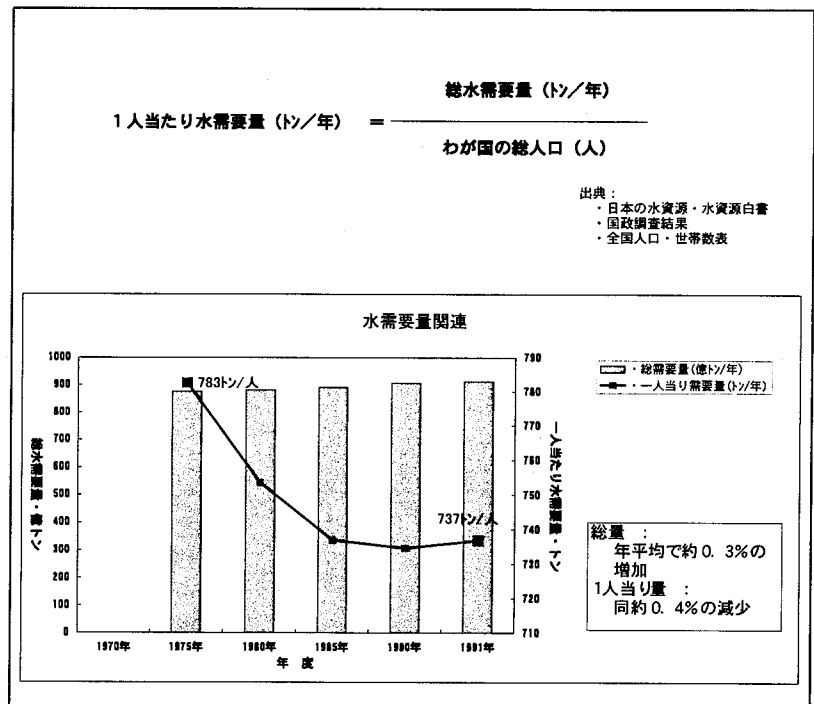
総水需要量では、図－3に示すように、年平均で約0.3%の増加を示すが1人当り水需要量は約0.4%の減少傾向を示した。

5.2 水資源容量の2時期比較

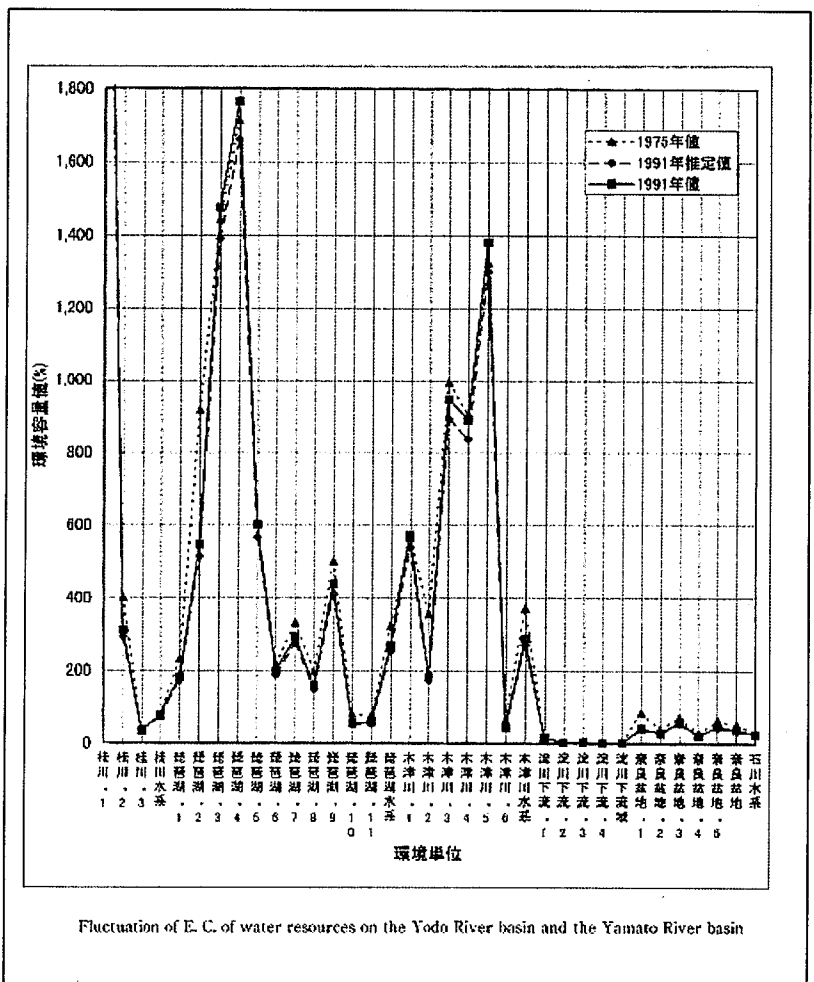
試算結果を図－4に示す。水資源容量は、支流区分で73.3%、集水域区分で60%の環境単位で減少した。増減率の平均は支流区分で-17.0%、集水域区分で-29.4%と大きな減少傾向を示した。これは土地利用の都市化により降水浸透機能が低下したことで居住人口の増加によるものであると推測できる。減少幅も100%以上が支流区分で2単位、50%以上が集水域区分で2単位、支流区分で4単位におよび、琵琶湖水系の南西部と南東部、木津川水系の上流の盆地、桂川水系の中流域で372.7~62.9%と大きな減少幅を示した。集水域区分では1975年においても木津川水系の371.7%、琵琶湖水系の322.3%のみが100%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、都市域への水資源の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。一人当たり水需要量が減少されずに、1975年の水準で維持していれば水資源容量はさらなる減少を示したものと推定できる。

5.3 水資源容量の変動と予測試算

水資源容量では減少傾向の強い上位5単位の年間減少率の平均は、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9.7%となった。指定地域等の法規制による制限や社会情勢の変化、また、ライフスタイルの



図－3 水需要量の推移



図－4 琵琶湖・淀川、大和川流域での水資源容量の変動

向上や新たな環境関連技術の開発による効果などにより単純な試算はできないことは断わっておくが、この状況が今後も続いたと仮定した場合、1991年時点保有されていた水資源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、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。

6 研究の成果と今後の課題

本研究では、生態系・エコシステムとして国土管理において重要性が認識されている「流域圏・ヒトのハビタットとしての集水域」を解析単位として、3大都市圏における人間活動による水需要量と潜在的な水資源量の定量試算を基本に、その関係を水資源容量として捉え試算し地域分布を明らかにした。また、琵琶湖・淀川、大和川流域では、2時期における水資源容量の変動試算を行い、変動状況や変動構造の解明を進めた。

本試算により、3大都市圏とも水資源容量の試算値は予想以上に低く、我々にとって身近な水資源も決して無尽蔵ではなく、緊迫した状況であることが明らかになった。その傾向は、特に首都圏で顕著であった。また、都市域の水資源は周辺地域により支えられてきたが、従来、都市域への水資源の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。さらに、階層的位置により容量値は大きく変動し、地域の構造を環境の視点から示すことが可能となり、階層構造の視点を環境計画に導入する必要性が示された。変動解析では、1人当り水需要量の減少に反し、土地利用の都市化や人口増加により、結果として容量が減少することが明らかになり、変動プロセスについての認識も重要な視点であることが示唆された。

わが国における3大都市圏でのこれらの解析結果は、現在、起こりつつある地球規模での水資源問題の縮図を示すものとも考えられる。また同時に、食糧資源や木材資源をはじめ多くの資源や製品を輸入することによって支えられているわが国の社会構造の将来に大きな課題を示すものであると考えられる。従って、当試算により、水資源の需要量と潜在量の関係について、実際に生活する地域における定量的な認識が可能になったことの意味は大きいと考えられ、改善により期待される効果や、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あり方について、降水量と地表形態、1人当たり水需要量、ヒトと自然の関係という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。これらの試論は、地球環境の保全を達成すべき「ヒトの活動の将来像」において、ミチゲーション、環境計画などの諸活動やライフスタイルについて、ヒトと自然の新しい関係という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。

【参考文献】

- 松井健・岡崎正規編（1993）「環境土壌学」、朝倉書店、257 pp.
- 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
- 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（2004）学際研究を視点にした流域管理モデルの構築とGISの応用、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（2005）流域を単位としたCO2固定容量の試算とGISの活用、第13回地球環境シンポジウム講演論文集、299-304、土木学会
- 大西文秀（2006）流域圏を視点にした持続可能な人口規模の試算とGISの活用、第14回地球環境シンポジウム講演論文集、27-32、土木学会