

49. 流域を単位とした CO₂ 固定容量の試算と GIS の活用

－わが国における 3 大都市圏の現状と琵琶湖・淀川流域での変動状況－

A STUDY ON THE ENVIRONMENTAL CAPACITY OF CO₂ FIXATION OF RIVER BASIN ON THE THREE METROPOLITAN AREAS IN JAPAN BY USING GIS

大西 文秀*

Fumihide ONISHI

ABSTRACT; By the Entry into forth of the Kyoto Protocol, reduction of CO₂ discharge became a big social duty in a citizen and activity of a company. Quantitative recognition for a discharge and fixation is necessary to achieve this aim. In this paper, Environmental Capacity of CO₂ fixation of River Basin was calculated on the Three Metropolitan Areas in Japan by using GIS. Environmental Capacity of CO₂ fixation set it as quantitative relation of CO₂ fixation and CO₂ discharge. And, fluctuation of Environmental Capacity of CO₂ fixation was calculated in Lake Biwa- Yodo River basin and Yamato River basin.

KEYWORDS; CO₂ fixation, CO₂ discharge, environmental capacity of CO₂ fixation, river basin, GIS

1 はじめに

京都議定書の発効を受け、CO₂ の排出量の削減が市民や企業の活動において大きな社会的責務になった。わが国においては、1990 年の排出量に対し 6% の削減が義務付けられていたが、既に 8% の増加を示しており、実質的に 14% の削減を達成する必要性が生じている。この目標を達成するためには、ひとりひとりの CO₂ 排出量や自然が持つ固定量に対する定量的な認識が不可欠となっている。

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」を単位として、3 大都市圏における発生源を視点にした CO₂ 排出量と CO₂ 固定量の定量試算を基本に、その関係を CO₂ 固定容量として捉え、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、琵琶湖・淀川、大和川流域では、2 時期における CO₂ 固定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 CO₂ 固定容量の概念構成と定量化手法の検討

2.1 CO₂ 固定容量の概念構成

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) 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 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。

CO₂ 固定容量はそのひとつであり、森林状況や人口などの自然環境量の関数と CO₂ の固定構造の科学的な関数、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排出量の 3 関数により構成するものと概念設定した。具体的には、環境単位での CO₂ の排出量と固定量の試算によりその需給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。

* 株式会社 竹中工務店 プロジェクト推進本部 TAKENAKA CORPORATION, Project Promotion Department

2.2 CO₂固定容量の定量化手法の検討

大気中のCO₂濃度が上昇傾向にあり、地球温暖化の要因とされている。人間活動の拡大にともなうCO₂排出量の増大とともに、光合成をつかさどる植物の生育域・森林域は減少傾向にあり、これが、CO₂の排出と固定のバランスに変調をきたす要因と考えられてきた。またCO₂という流動性のある気体を扱うため、地域を限定してのとりくみはあまりなされていないのが現状であった。しかし、環境単位でのCO₂の排出総量は、近い将来、他の環境単位に依存できる余地はますます限定されたものとなる可能性が高く、地域や環境単位での環境特性の定量的把握を進めるうえでの基本的とりくみと考えられる。

本試算では、環境単位でのCO₂の排出量と固定量を試算することにより、その需給バランスを試算することを基本とした。排出量は、1人当たり排出量に環境単位内の人口を乗じるにより試算した。固定量は、森林材積量（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。

環境省の研究報告では、「植物は、一般に1kgの純生産量の過程で1.6kgのCO₂を固定する。」とされているが、当試算では、単年生草本や樹木の落葉等による有機物の分解から再放出するCO₂を除いた樹木の木質部の成長量をCO₂固定の対象とした。図-1、2参照。

木質部の森林資源量には材積量（m³）を基本に用い、

わが国での材積成長率を実績成長量より試算し、「年間材積成長率：3.0%/年」、乾燥した木質部の重量を「木質部気乾比重：0.5 t/m³」、幹部の材積量と樹木全体の材積量の比率を「材積木質部比：145%」と設定した。図-2参照。なお、対象とする森林資源については、森林計画上での森林を対象とした。都市公園の樹木、街路樹、庭木などの存在も、都市部では重要な森林資源と考えられるが、本試算では、広域的な試算を目的としたことや、データの制約と総森林資源量にしめる割合が少ないとの判断より除外することとした。

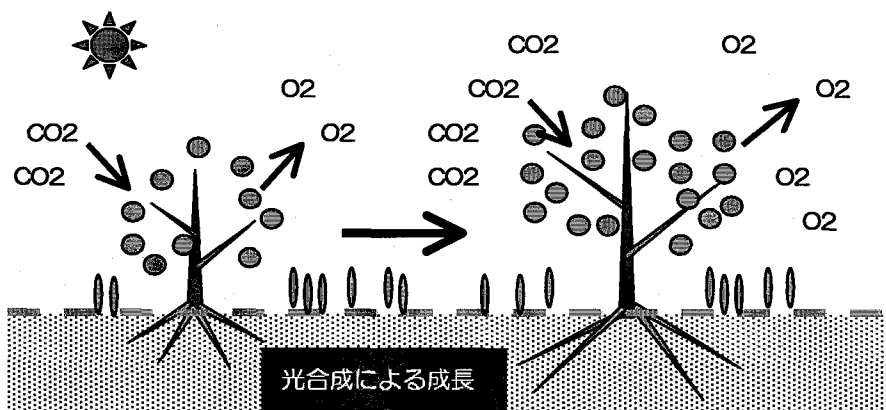


図-1 光合成による樹木成長

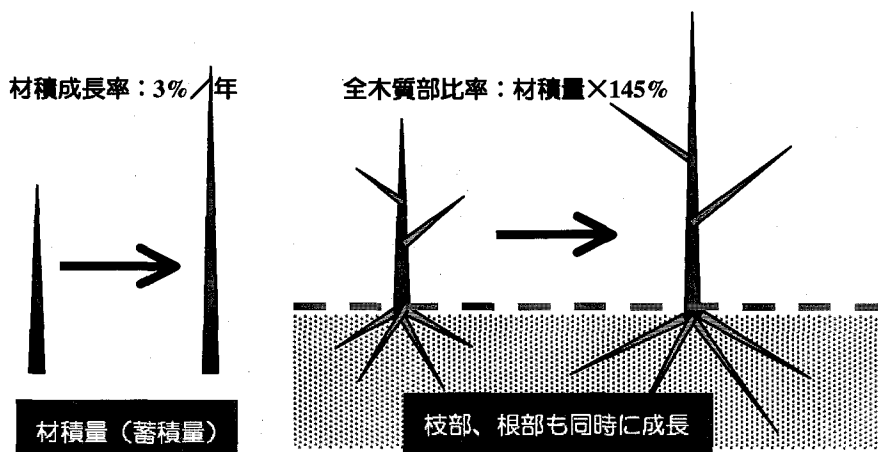


図-2 材積成長と全木質部の概要

3 地理情報システム（GIS）によるCO₂固定容量の試算モデルのシステム化

上記の考え方をもとに、CO₂固定容量の試算モデルを構築した。分母に、1人当たりCO₂排出量に環境単位内人口を乗じた総排出量、分子に、環境単位内に存在する森林資源が持つ光合成によるCO₂固定量を取り、CO₂の排出量と固定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」を設定し行った。

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、居住人口、森林材積量（蓄積量）をデータベース化した。

また、CO₂固定容量の試算に必要な一人当たりCO₂排出量は、「気候変動枠組条約国別報告書調査」、「国政調査結果」を用い設定した。本試算では、総排出量（炭素換算値）をその年次の人口で割り、CO₂換算のため、炭素と二酸化炭素の分子量比の3.67を乗じ試算し、「9.51トン／年」と設定した。

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、「ARC/INFO」、「ArcViewGIS」、および、「EXCEL」により行った。

以上の考え方により試算式を構築した。表－1にはCO₂固定容量の試算式を示す。

表－1 CO₂固定容量の試算式の構成

CO ₂ 固定容量： 固定量／放出量	$\frac{\text{環境単位内森林蓄積量 (m}^3\text{)} \times 3.0 (\%/\text{年}) \times 145\% \times 0.5 (\text{トン}/\text{m}^3) \times 1.6 (\text{トン}/\text{トン})}{9.51 (\text{トン}/\text{人} \cdot \text{年}) \times \text{環境単位内居住人口}} \times 100$
----------------------------------	---

4 3大都市圏におけるCO₂固定容量の試算結果

図－3にはCO₂固定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排出量が森林による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、排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、固定量が排出量を上回ると考えられる集水域区分は中部圏では存在しないが、首都圏では150km圏域の一部に存在し、近畿圏では100～125km圏域の一部に存在することが明らかになった。

4.1 近畿圏におけるCO₂固定容量

集水域区分での試算結果は、平均値が27.2%、最大値が291.4%、最小値が0.1%、また、支流区分での試算結果は、平均値が64.4%、最大値が821.2%、最小値が0.0%を示した。

地域的には、大阪湾、瀬戸内海、伊勢湾に流入する集水域で、CO₂固定容量は低く、太平洋、日本海に流入する集水域で高い傾向が見られる。全体的に容量は低いが、固定量が排出量を上回る100%以上の環境単位も存在し、集水域区分では、熊野川水系、日置川水系などの集水域で2単位が存在し、集水域区分の5.9%をしめている。支流区分では、揖保川水系、由良川水系、櫛田川水系、桂川水系、紀ノ川水系、日置川水系、有田川水系、宮川水系、熊野川水系、日高川水系などの集水域の源流域や上流域の15の環境単位で見られ支流区分の12.9%に及んでいる。

4.2 首都圏における CO₂ 固定容量

集水域区分での試算結果は、平均値が 38.8%、最大値が 784.6%、最小値が 0.0%、また、支流域区分での試算結果は、平均値が 32.9%、最大値が 784.6%、最小値が 0.0%を示した。

地域的には、ほぼ全域で容量が 20%以下を示している。それらの環境単位は、集水域区分で 22 単位であり、集水域区分の 78.6%におよび、支流域区分では 83 単位であり、支流域区分の 66.9%におよんでいる。

全体的に容量は極めて低いが、固定量が排出量を上回る 100%以上の環境単位も存在し、集水域区分では、利根川水系の源流域の片品川水系、富士川水系の上流域である早川水系での 2 単位が存在し、集水域区分の 7.1%を示している。支流域区分では、利根川水系の上流域の片品川水系、渡良瀬川水系、鬼怒川水系、利根川上流や相模川水系、多摩川水系、荒川水系、富士川水系の早川水系などの集水域の源流域や上流域の 9 単位の環境単位で見られ支流域区分の 7.3%におよんでいる。

4.3 中部圏における CO₂ 固定容量

集水域区分での試算結果は、平均値が 18.9%、最大値が 66.3%、最小値が 0.1%、また、支流域区分での試算結果は、平均値が 105.2%、最大値が 1482.7%、最小値が 0.0%を示した。

地域的には、太平洋沿岸、日本海沿岸と千曲川水系、犀川水系で低く傾向が見られる。

固定量が排出量を上回る容量が 100%以上の環境単位は、集水域区分では見られず、庄川水系、常願寺川・黒部川源流水系、飛騨川水系などが 50%以上を示す。しかし、支流域区分では、木曽川水系、千曲川水系、飛騨川水系、九頭竜川水系、神通川水系、手取川水系、天竜川水系、矢作川水系、長良川水系、揖斐川水系、大井川水系、犀川水系、庄川水系などの集水域の源流域や上流域の 27 単位の環境単位で見られ支流域区分の 23.1%におよんでいる。

5 琵琶湖・淀川、大和川水系における CO₂ 固定容量の変動試算

前項での 3 大都市圏における CO₂ 固定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 CO₂ 固定容量の急激な変化の状況を捉えるため、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。CO₂ 排出量の変動、CO₂ 固定容量の 2 時期比較、CO₂ 固定容量の変動と予測について次の解析結果を得た。

5.1 CO₂ 排出量の変動

総 CO₂ 排出量では年平均で約 2%、一人当り排出量では同約 0.9%と共に増加傾向を示した。図-4 参照。

5.2 CO₂ 固定容量の 2 時期比較

試算結果を図-5 に示す。ほぼ全域で CO₂ 固定容量は極めて低い状況にあるが、支流域区分では 60%、

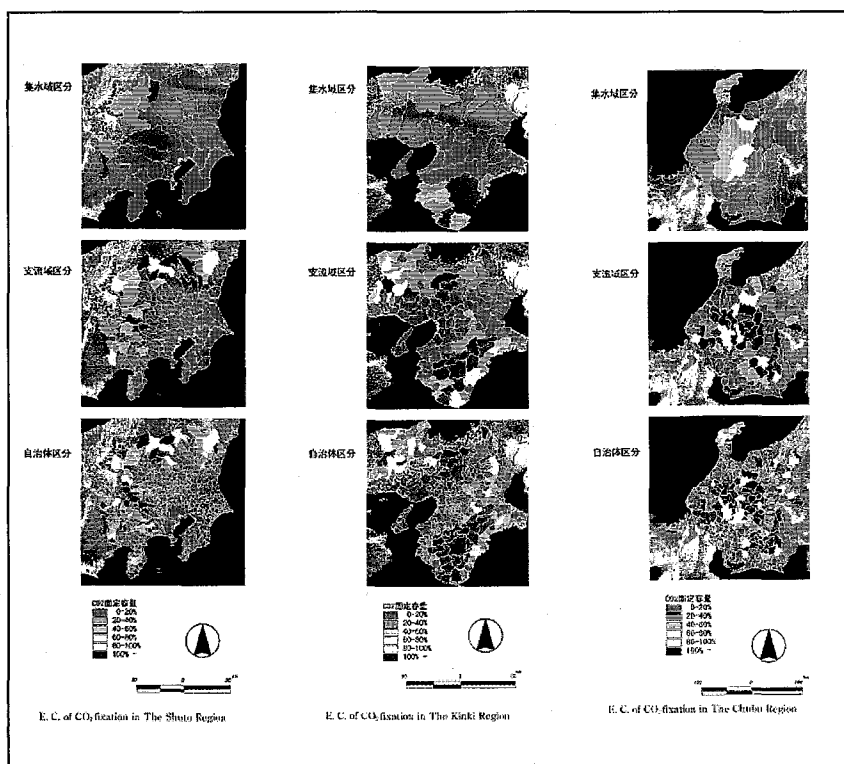


図-3 CO₂ 固定容量の試算結果（3 大都市圏・3 階層）

集水域区分では 80% の環境単位で容量は増加した。増減率の平均は流域区分で 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 6.4~9.2%、木津川水系の上流と中流域で 5.6~15.0% の増加を示した。これは、森林での蓄積量の増大により CO₂ 固定量が增大したことによるものである。しかし、全体的に容量値は極めて低く、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の向上傾向が認められず 0% に近い値で推移した。

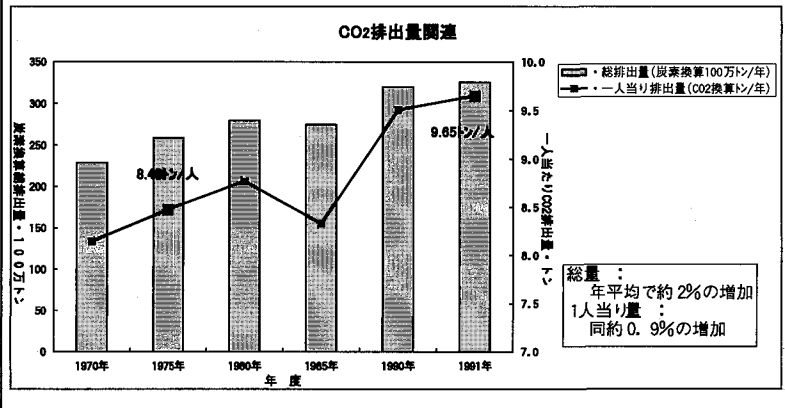
試算期間はわが国において一般的に環境の悪化が深刻化した時期であるが、逆に強い増加傾向を示した。この増加の要因は、CO₂ の固定機能を有する森林域での蓄積量の増加にあると考えられる。当地域での森林資源は、第 2 次大戦中に多くが伐採され消費されたが、戦後行われた植林による森林の回復と、木材需要の多くを海外に依存したことにより、地域内の森林蓄積量が急速に増加したことによるものと考えられる。また、蓄積量の増加率のピークに当たることも大きなひとつの要因と考えられる。しかし、将来、森林の蓄積増加率が樹齢の高齢化にともない減少傾向に転じ、CO₂ 固定容量も減少傾向に転ずることが予測される。

また、この増加現象は多くの地域において人口増加によるマイナス影響よりも CO₂ の固定を司る森林蓄積量の増加が勝ったことによるものである。特に山村地域では人口減少によるプラス影響と森林蓄積量の増大が重なったため大幅な環境容量の増大を示した。一人当たり総排出量の増大がなく、1975 年の水準で維持していれば CO₂ 固定容量はさらなる増加を示したものと推定できる。

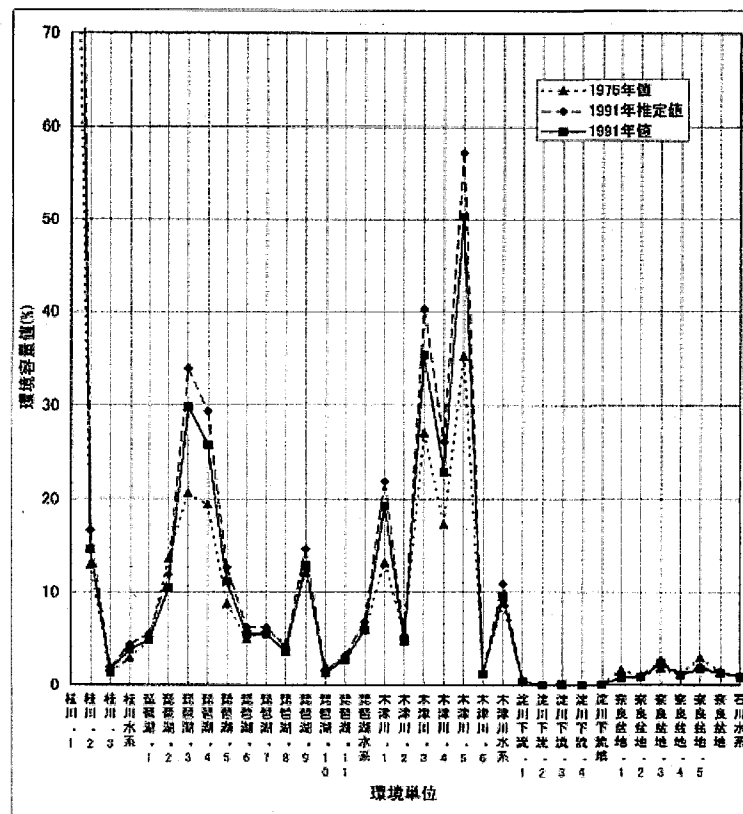
・CO₂ 排出量関連の一人当たり原単位値の推移と設定

$$\text{1人当たり排出量 (CO}_2\text{換算ト/年)} = \frac{\text{総排出量 (炭素換算ト/年)}}{\text{わが国の総人口 (人)}} \times 3.67$$

出典：
・気候変動枠組条約国別報告書、3.67：炭素と二酸化炭素の分子量比
・国政調査結果
・全国人口・世帯数表



図一 4 CO₂ 排出量の推移



Fluctuation of E. C. of CO₂ fixation on the Yodo River basin and the Yamato River basin

図一 5 琵琶湖・淀川、大和川流域での CO₂ 固定容量の変動

5.3 CO₂固定容量の変動率と予測試算

CO₂固定容量の変動率を支流区分での環境単位で見ると、減少傾向を持つ環境単位の年間減少率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域などで約 0.05~0.2%であった。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、仮に、前項で試算した変動状況が今後も続いたと仮定した場合の 1991 年の CO₂固定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、奈良盆地水系の西部、琵琶湖水系の南西部と南東部などで約 36.4 年、また、上位 3 単位の平均では約 21.9 年と試算できる。

6 研究の成果と今後の課題

地球温暖化がもたらすヒトと自然への影響は、多岐、長期にわたり大きな問題となりつつある。市民や企業の活動における CO₂排出量の削減が国際的な課題となっている。このためには、ひとりひとりの CO₂排出量や自然が持つ固定量に対する定量的な認識が不可欠と考えられる。

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・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 CO₂排出量と CO₂固定量の定量試算を基本に、その関係を CO₂固定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 CO₂固定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、多くの地域において CO₂固定容量は極めて低く、CO₂の排出量と固定量には、果たして改善や再生が可能か疑問視せざるをえない程の大きな隔たりがあることが明らかになった。そしてそれは、京都議定書の目標である 6 %の削減が達成できたとしても地球の未来に不安が残るものであった。

しかし、当試算により、CO₂の固定と排出の関係について、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新しいあり方について、気候変動と森林資源、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、地球温暖化の防止を達成すべき「ヒトの活動」において、情報管理、環境評価、ミチゲーション、また合意形成等をもたらす社会システムの構築や環境教育の一助になるものと考えられる。

[参考引用文献]

- 大西文秀他 (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
- 大西文秀他 (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
- 大西文秀他 (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 (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) GIS を用いた集水域研究と学際研究へのチャレンジ、陸水物理研究会・日本陸水学会 2003 年札幌合同大会、14、発表要旨集、
- 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 (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、バイオシティ
- 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 回大会発表論文集、56、日本景観生態学会
- 大西文秀 (2005) 集水域のポテンシャルを視点にした水資源容量の試算と GIS の活用、2005 年度春季学術大会、発表要旨集 No.67、83、日本地理学会
- 大西文秀 (2005) ヒューマンハビタットとしての集水域の学際研究と GIS の応用、日本生態学会 52 回研究大会要旨集、136、日本生態学会