

30. 環境容量を用いた日本の未来可能性へのシナリオ・シミュレーション

大西 文秀

ヒト自然系 GIS ラボ (〒630-0133 奈良県生駒市あすか野南 2-6-17)

E-mail : fonishi@m3.kcn.ne.jp

低炭素・低リスク社会への移行が急務になっている。本試算では関東地方、北海道地方、東北地方を対象に、改善への対応策の設定を行い、環境容量の5指標によるシミュレーションを試みた。具体的には、ステップ1として、(A) 自然人口減少による試算と、(B) CO₂排出削減による試算。ステップ2として、それらの合体による試算。そしてステップ3として、ステップ2に森林の育成、土地利用・地表形態の改善を加えた効果。最後にステップ4として、ステップ3に人口集中地域である関東地方から北海道地方や東北地方への人口の再配分を加えた場合の試算を行い、各ステップでの試算結果をレーダーチャートに示した。課題は多いが本試算により、試算地方での環境容量の改善効果を定量的に示すことが可能になった。また環境容量の概念の活用と、森林育成、地表形態の改善、人口の再配置、人口の自然減少、CO₂排出量の削減など、本シミュレーションで用いた対応策の計画的な導入により、急激に進んだ日本の都市化が是正され、低炭素・低リスク社会への移行に寄与するものと考えられる。

Key Words : *Futurability, environmental capacity, GIS, sustainable land use, policy scenario, low risk society*

1. はじめに

低炭素・低リスク社会への移行が国際的な課題となっている。多くの環境問題や災害リスク問題は、ヒトの活動の集積が自然の持つ包容力を超えることにより増大すると考えられ、その関係の是正が急務となっている。この課題を解決するためには、ヒトと自然の関係をはかることのできる指標と、指標によるシナリオシミュレーション手法の開発が不可欠と考えられる。

本研究では、ヒトと自然の関係を5つの指標(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)により構成した環境容量としてとらえ、関東地方、北海道地方、東北地方を対象に、人口の自然減少、CO₂排出量の削減、森林育成、地表形態の改善、人口の再配置など、段階的な改善への対応策の設定を行い、環境容量のシミュレーションを試みた。

モデル化やシミュレーションには限界や制約が多く存在し課題も多いが、人間活動が環境に対してもたらす影響を、包括的に定量的に把握するプロセスは十分とは言えない。そしてこのことが、知らないうちに環境問題や災害リスクを大きくしており、今後このプロセスの重要性は増加すると考えられ、それに対応できるシステムの構築を目指すものである。本試みにより、改善計画が持つ効果や影響について定量的かつ包括的な予測が可能となり、継続的な対応策のための目標設定や合意形成を進めるうえでの一助になることを願うものである。

2. 環境容量の概念と試算手法

環境は、ヒトと自然が織り成す中でかたちづくられていく現象結果であり、ヒトと自然の関係を同時に定量的に捉えることが必要となりつつある。これはヒトの活動やその集積が自然の包容力に比べ小さい時代には不要であったかも知れないが、現在ではヒトの活動が自然の容量を超えつつあり必要不可欠となっている。本試算では、そのための手法のひとつとしての環境容量の概念を活用した。環境容量は、「ヒトの活動の集積」と「自然が持つ包容力」の関係を示す指標として設定し、分母にヒトの活動量、分子に自然の包容力をもつ関数としての概念を持ち、そのバランス状況をはかる指標とした。複数の環境容量を試算するエコモデルを設定し、ヒト・自然系の全体像を包括的に概観することを目的とした。

エコモデルは、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、これらにより、地球温暖化、水資源、食糧資源、森林資源などの地球規模から、都市のヒートアイランド、人口問題、ゲリラ豪雨のような地域レベルのものなど、地球環境保全のうえで重要視される現象に対応させている。また、ヒトの生活のなかでその改善への対応が可能と考えられるものや環境の構成要素のなかで高位に位置し、その改善により多面的な効果が期待できるものを対象にした。さらに、指標間の相互関係の理解が進むことにも配慮し設定した。図-1, 2には環境容量の概念と試算方法を示す。

次に5指標の概要を示す。CO₂固定容量とは、森林資源がもつCO₂固定量と人間活動による排出量の関係で、主に地球温暖化に関する指標である。クーリング容量は、本来、森林により覆われた地表面がもつ冷却量と現在の地表面がもつ冷却量の関係で、主にヒートアイランド現象に関する指標である。また、生活容量は、生存に必要な都市や生産緑地面積から試算した、自給可能人口と現人口の関係であり、食料自給や人口問題に関する指標である。水資源容量は、降水の地中浸透量による利用可能水資源量と人間活動による水需要量との関係で、水資源や洪水災害問題に関係する指標である。また、木材資源容量は、森林の成長量から試算した可能木材供給量と人間活動による木材需要量との関係を示すものである。そして、これらを試算するためエコモデル式を設定した。

3. 地理情報システム(GIS)によるシステム化

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。

シナリオシミュレーションを行うために、試算地域は、関東地方を構成する1都6県、北海道地方、および東北地方を構成する6県とし、地方単位で環境容量の試算を行った。環境容量の試算年次は、2000年とし、以下の考え方により試算式を構築した。

[CO₂固定容量]

環境単位でのCO₂の排出量と可能CO₂固定量の試算によりその関係を計ることを基本とした。CO₂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観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1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。

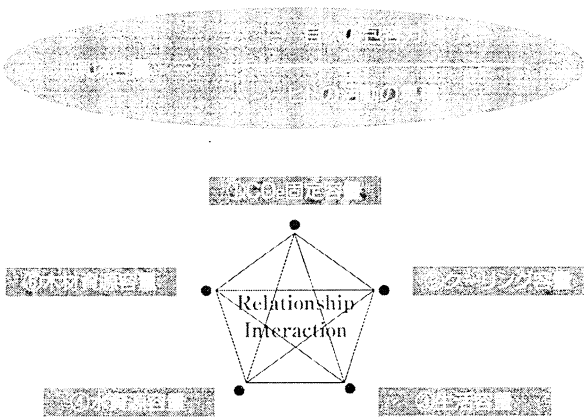


図-1 環境容量の概念と5指標の構成

1. CO ₂ 固定容量	環境単位内に存在する森林資源の光合成による固定量 1人当たり排出量に環境単位内人口を乗じた総排出量
2. クーリング容量	地表面の形態の変化による冷却容量の現況値 環境単位が本来森林に覆われた状態で有した冷却容量
3. 生活容量	1人当たりの必要面積をもとに求めた環境単位での自給可能人口 環境単位での現況人口
4. 水資源容量	環境単位での潜在的な水資源量 1人当たり水需要量に環境単位内人口を乗じた総水需要量
5. 木材資源容量	環境単位内に存在する森林資源の成長による供給量 1人当たり木材需要量に環境単位内人口を乗じた総木材需要量

図-2 環境容量の5指標の試算方法

[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1人当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1人当り木材利用量に環境単位内の人口を乗じ試算した。

データは、国土交通省国土計画局が提供している国土数値情報を中心に活用した。また、演算には、GISのアプリケーションソフトである、ESRI社のArcGISを使用した。

4. シナリオの設定

【対応策の設定】

シミュレーションやモデル化には多くの制約や限界が存在するが、本試算では政府の研究プロジェクトなどで想定されている、CO₂の排出削減目標や、人口減少時代に入った我国における人口の将来予測などを参考にして、仮説による設定を行い、これらがどのような効果や影響をもたらすのか試算した。また森林育成の推進や、土地利用や地表形態の改善、さらに人口集中地域から地方への移住・人口の再配分などを想定したシミュレーションを進め、それらが環境容量の5指標にどのような改善効果をもたらすのか包括的かつ定量的な試算を目指した。

【試算地域の設定】

試算地域は、道州制などとの関連が深い地方単位を用いた。シミュレーションする地方は、北海道地方、東北地方、関東地方を想定し、関東地方から北海道地方と東北地方へ人口移動することも設定条件として進めた。これは5つの環境容量の指標のなかの生活容量をクリティカル容量と考えたことによるものである。すなわち、北海道地方と東北地方の生活容量は、それぞれ、約244%と、約114%であり需給可能容量の100%を超えており、人口増加に対する余裕があることによるものである。一方、関東地方の生活容量は、約24%と、需給可能人口の約4倍を有する厳しい状況にあり、低炭素・低リスク社会への推進において改善が必要と考えられることによるものである。シミュレーションにおける試算年次は、話題にのぼることの多い2050年に設定した。

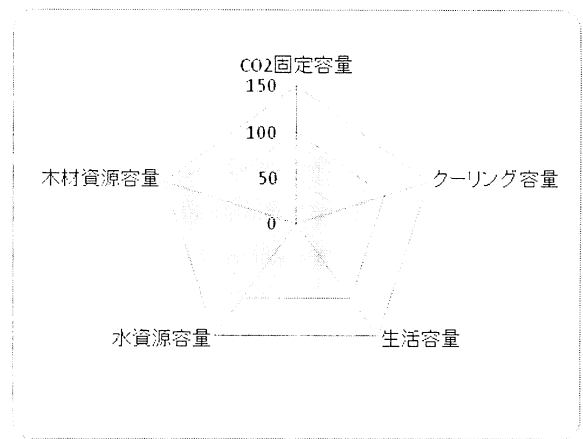
【試算結果の表示】

シミュレーション結果は、図-3に示すようにレーダーチャートを用いて表示した。現況（2000年値）を黄色系、シミュレーション結果を緑色系で示した。シミュレーションの試算結果を、図-4、図-5に示す。

北海道地方、東北地方、関東地方のそれぞれの現況の環境容量（2000年時点）は、図-4の左端のレーダーチャートで示す。

シミュレーションは、ステップ1として、(A) 自然人口減少による試算。(B) CO₂排出削減による試算。ステップ2として、それらの統合による試算を行い、それぞれの効果を図-4のレーダーチャートに示した。

そして次のステップ3として、ステップ2に森林育成、土地利用・地表形態の改善を加えた効果、最後にステップ4として、ステップ3に人口集中地域である関東地方から北海道地方や東北地方への移住・人口の再配分を加えた場合の試算を進め、それらの推移を図-5のレーダーチャートに示した。



・黄色：現況 緑色：シミュレーション結果

図-3 レーダーチャートによるシミュレーション表示

【設定値】

以上の設定をもとに、下記の設定値により、環境容量のシミュレーションを行った。

- ステップ1 (A)
 - ・「自然人口減少：20%」
- ステップ1 (B)
 - ・「CO₂の排出削減：70%」
- ステップ2
 - ・「CO₂の排出削減70%」＋「自然人口減少20%」
- ステップ3
 - ・「ステップ2」＋「森林の育成、土地利用・地表形態の改善」
(都市系面積の30%を我国の平均的な森林：130 m³/haに移行する。)
- ステップ4
 - ・「ステップ3」＋「人口集中地域から地方への移住・人口の再配分」
(関東地方から北海道地方へ400万人、東北地方へ65万人が移住する。北海道地方の受入れ可能人口約800万人の50%、同東北地方の約130万人の50%を設定。)

5. 試算結果

シミュレーション結果を図-4、図-5 に示す。

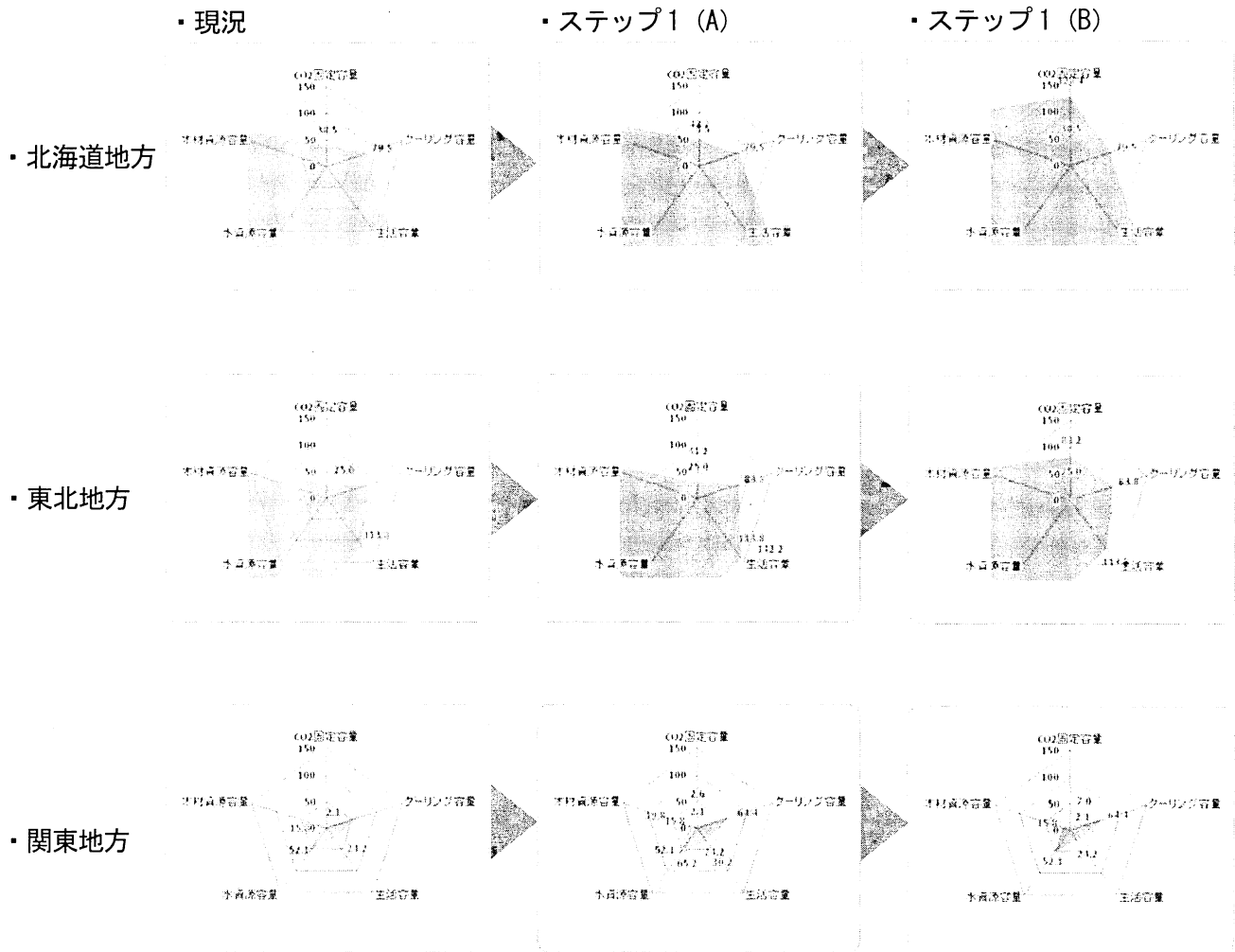


図-4 レーダーチャートによる環境容量の推移

現況 → ステップ1（A） → ステップ1（B）

●現況

環境容量の5指標の現況値（2000年値）を図-4の左列のレーダーチャートに示す。

●ステップ1（A）

- ・「自然人口減少：20%」

自然現象による人口減少により、人口ファクターを持つ指標、CO₂固定容量、生活容量、水資源容量、木材資源容量で環境容量が改善される。（図-4中央列のレーダーチャート参照）

人口減少により、CO₂の総排出量や、食糧需要量や水資源需要量、木材資源需要量などの総需要量が減少することによるものである。

●ステップ1（B）

- ・「CO₂の排出削減：70%」

CO₂の排出量をファクターに持つCO₂固定容量で容量値が改善される。（図-4右列のレーダーチャート参照）

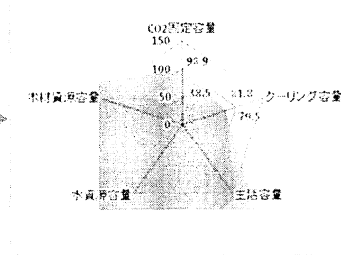
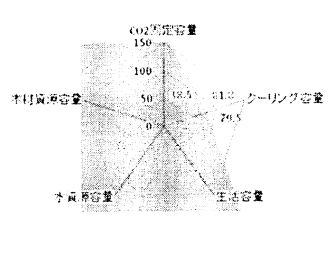
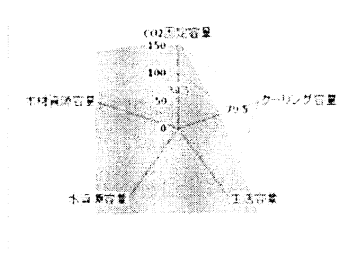
一人当たりのCO₂排出量は、9.76トン/年（2000年値）の70%削減ということで、2.93トン/年に改善されることによるものである。

・ステップ2

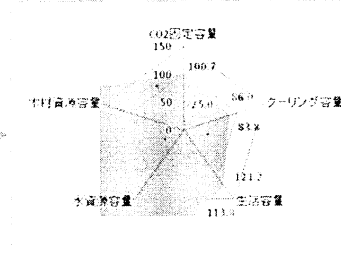
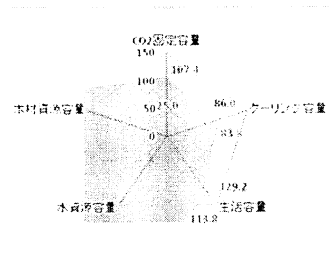
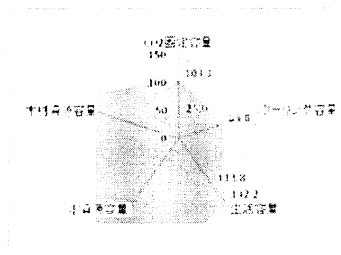
・ステップ3

・ステップ4

・北海道地方



・東北地方



・関東地方

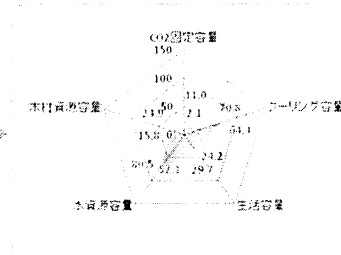
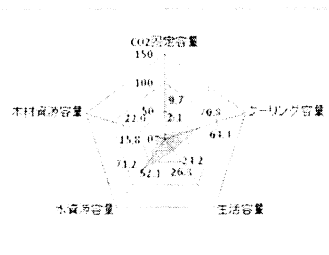
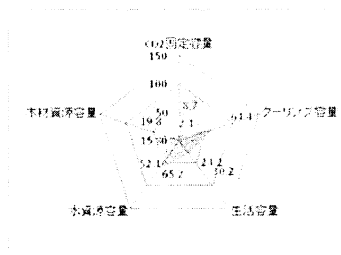


図-5 レーダーチャートによる環境容量の推移

ステップ2 → ステップ3 → ステップ4

●ステップ2

- ・「CO₂の排出削減70%」＋「自然人口減少20%」

人口減少という自然現象に、CO₂の排出量の削減というヒトの努力が加わり、CO₂固定容量はさらに向上する。人口ファクターを持つ指標、生活容量、水資源容量、木材資源容量で環境容量も改善される。(図-5 左列参照)

●ステップ3

- ・「ステップ2」＋「森林の育成、土地利用・地表形態の改善」(都市系面積の30%を平均的な森林に移行)

ステップ2で留まらず、森林育成や地表形態の改善を進めると、CO₂固定容量、クーリング容量、水資源容量、木材資源容量はさらに改善される。(図-5 中央列参照)

CO₂固定容量と木材資源容量の改善は、森林育成によりCO₂固定や木材資源のファクターである森林蓄積量が増加し、クーリング容量や水資源容量の改善は、都市系の地表形態が森林化することにより、排熱吸収量や降水の地中への浸透量が増加することによるものである。

●ステップ4

- ・「ステップ3」＋「人口集中地域から地方への人口の再配分」

ステップ4では、さらに、大都市圏での環境負荷や災害リスクの改善を目指し地方への移住・人口の再配分という手法によるシミュレーションを試みた。

これは生活容量をクリティカル容量と考え、北海道地方と東北地方の受入可能人口の50%(北海道地方へ400万人、東北地方へ65万人)を関東地方から受入れるという設定によるものである。

図-5の右列のレーダーチャートに示すように、北海道地方と東北地方の環境容量はステップ3に比べて低下するが、極めて低い関東地方での環境容量が改善され、環境負荷や災害リスクに対する改善が進むと考えられる。

6. 成果と課題

本試算では、低炭素・低リスク社会への移行を進める試みとして、関東地方、北海道地方、東北地方を対象に、環境容量の概念を活用したシナリオ・シュミレーションを行った。人口減少、CO₂の排出量の削減、森林育成、地表形態の改善、人口の再配置を改善への対応策として設定することにより、環境容量の5指標がどのように変動し改善するのかを試算することができた。

また試算結果は、森や文化が日本の環境容量の保持に重要な役割を持つことを示唆するものでもあった。奥山や里山の森や林、また田畑などの生産緑地も日本の環境を保ってきた。これは単に森や田畑が立地していたということではなく、そこに住み、森や田畑に関わってきた人々の生活が存在し、環境と共にした人々の営み、すなわち文化が永続していたと考えられる。

近年、国土の利便性や経済性は大きく発展した。計画的な都市インフラの整備の成果であり、我々の生活はこの恩恵の上にある。そして現在では、さらに環境性、資源性、防災性など、新たな課題への対応が急務となっている。

都市域を支えてきた自然域の余裕も減少し、環境負荷を許容しにくくなり、同時に災害リスクも増大し、社会システムやライフスタイルの改善も必要になりつつある。今後は環境性能、資源性能、防災性能などを向上させる必要があり、これに対応する情報やシステムが必要になると考えられる。

課題は多いが、環境容量の概念の活用は、このような社会的要請や合意形成の方向を確認する情報やシステムとして、寄与するものと考えられる。現代社会には、ヒトと自然の関係の改善が求められているのではないだろうか。環境容量を活用した試みが、未来可能性を高めるための一助になることを願うものである。

参考引用文献

- 1) 太田幸雄：「わたしの本棚 -GIS で学ぶ日本のヒト・自然系-」 土木学会誌、2月号、pp53、土木学会、2010。
- 2) 松岡 譲：「土木技術者と地球温暖化」、『GIS で学ぶ日本のヒト・自然系』(2009、大西文秀)、pp136、弘文堂、2009。
- 3) 宇根 寛：「書評-GIS で学ぶ日本のヒト・自然系-」、『地理中心』2010-2、vol449、44、日本地理センター、2010。
- 4) 上田純一：「書評-GIS で学ぶ日本のヒト・自然系-」、OMLP ニュースレター、第19号、pp2-3、大阪公立大学共同出版会、2009。
- 5) 平田更一：「書評-GIS で学ぶ日本のヒト・自然系-」、『測量』2009-11、vol704、37、日本測量協会、2009。
- 6) 大西文秀：日本の主要流域における環境容量の試算と GIS の活用、地球環境変動学講演賞受賞、ニュースレター第48号、土木学会地球環境委員会、2011。
- 7) 大西文秀：『環境容量からみた日本の未来可能性』-GIS Map Book for Japanese Futurability-、第12回環境変動科学センター賞(2012)受賞対象書籍、183p、大阪公立大学共同出版会 (OMLP)、2011。
- 8) 大西文秀：『GIS で学ぶ日本のヒト・自然系』-GIS Map Book for Japanese Humanity and Nature-、第12回環境変動科学センター賞(2012)受賞対象書籍、167p、弘文堂、2009。
- 9) 大西文秀：『環境容量』、『地球環境学事典』、総合地球環境学研究所編、pp530-531、弘文堂、2010。
- 10) 大西文秀：『環境容量と流域から見た低炭素社会』、『融』vol.18、pp29-32、(財)大阪地域振興調査会、2010。
- 11) 大西文秀：『日本のサイオロジー・流域の環境容量』、『BIO-City』No.42、pp2-5、ピオシティ、2009。
- 12) 大西文秀：『もうひとつの宇宙船をたずねて』-Operating Manual for Spaceship River Basin by GIS-、159p、遊タイム社版、2002。
- 13) 大西文秀：流域圏を視点にした水資源容量の試算と GIS の活用、地球環境貢献賞受賞、ニュースレター第42号、土木学会地球環境委員会、2007。
- 14) 大西文秀：流域環境容量、環境キーワード小辞典、ニュースレター、第37号、土木学会地球環境委員会、2005。
- 15) 大西文秀：学際研究を視点と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、2004。
- 16) 大西文秀：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、2005。
- 17) 大西文秀：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、2006。
- 18) 大西文秀：流域圏を視点にした水資源容量の試算と GIS の活用、第15回地球環境シンポジウム講演論文集、2007。
- 19) 大西文秀：流域圏を視点にしたクーリング容量の試算と GIS の活用、第16回地球環境シンポジウム講演論文集、2008。
- 20) 大西文秀：沖縄における環境容量の試算と GIS の活用、第17回地球環境シンポジウム講演論文集、2009。
- 21) 大西文秀：長野県における環境容量の試算と GIS の活用、第18回地球環境シンポジウム講演論文集、2010。
- 22) 大西文秀：天竜川流域における環境容量の試算と GIS の活用、第18回地球環境シンポジウム講演論文集、2010。
- 23) 大西文秀：日本の主要流域における環境容量の試算と GIS の活用、第18回地球環境シンポジウム講演論文集、2010。
- 24) 大西文秀：GIS で観る信州のヒトと自然、地球環境フォーラム講演論文集、第18回地球環境シンポジウム、諏訪東京理科大学2010。
- 25) 大西文秀：茨城県における環境容量の試算と GIS の活用、第19回地球環境シンポジウム講演論文集、2011。
- 26) 大西文秀：那珂川流域における環境容量の試算と GIS の活用、第19回地球環境シンポジウム講演論文集、2011。
- 27) 大西文秀：日本の都道府県における環境容量の試算と GIS の活用、第19回地球環境シンポジウム講演論文集、2011。
- 28) 大西文秀：東北地方における環境容量の試算と災害リスク、第19回地球環境シンポジウム講演論文集、2011。