

土地利用から見た地球環境研究の現状と方向

----- 全球的なデータの整備から利用、研究まで

Land Use/Cover Studies for Global Environmental Issues

土木計画学研究委員会

柴崎亮介*

Ryosuke SHIBASAKI*

ABSTRACT:

Roles of global land use/cover studies in global environmental issues are summarized. Major research results and trends are reviewed from the following viewpoints:

- 1) estimation of environmental impacts due to changes in land use and cover,
- 2) assessment of terrestrial environmental resources,
- 3) development of land use models for forecasting environmental impacts and for policy evaluation and,
- 4) development of land use/cover data on the global scale and a computer environment to support global land use studies.

There have not been reported an enough numbers of researches on development of land use models at the continental and global scale and needs for further intensive studies are identified. It is very necessary to develop databases of land use/cover data which allow time-series analysis.

Keywords: global environmental issues, land use/cover study, land use modeling, land suitability analysis, land use/cover mapping projects, GIS

1.はじめに

本稿は「土木計画学」的な視点から地球環境問題への工学的アプローチを議論しようとするものである。まず地球環境問題を地域スケールの環境問題と対比させることにより、地球規模の問題の持つ特殊性を簡単に整理する。さらに地球環境問題に対する「計画論」的な視点からの研究を概観し、土地利用に着目したアプローチを「土木計画学」が貢献できる有望な方向の一つと位置づける。土地利用に着目した地球環境の工学的研究の展望を議論し、それを支えるデータ整備、データ利用環境の整備に関する研究の動向を紹介する。

地球環境問題の内容は非常に多様であり、また政策検討・実施のための枠組みも必ずしも明確ではない。本稿が土木工学研究者からの地球環境問題へのアプローチを具体的に議論するたたき台となれば幸いである。

2.「土木計画研究」から見た地球環境問題

環境汚染が全球的な問題とされるのは、まず環境負荷物質の拡散が非常に早く、しかも大気中などに永く滞留するなどの理由で被害が超広域（大陸～全球スケール）に及ぶ可能性が高い場合である。二酸化炭素を主な原因とする地球温暖化はその典型例である。また、地球が閉じたシステムであることを明確に意識し、環境負荷などの「つけ回し」をしないという観点に立てば、産業廃棄物の途上国への輸送・廃棄問題、輸出製品の生産過程における途上国での環境汚染問題など、人間活動の全球的な拡大・ネットワーク化を通じて地域スケールの環境問題が全球的な広がりを持つ地球環境問題となるに至る。

こうした超広域・長期にわたる問題に対する対策研究を効果的に進めるためには、以下のような基本的な課題を検討しておく必要がある。こうした課題は国内の地域的な環境問題では必ずしも先鋭的には意識されないものであった。

- 1) 環境に対する価値観、倫理観の国際的な多様性
- 2) 環境政策の検討・合意形成・実施の国際的な制度的枠組みの確立

国・地域によって環境に対する意識が非常に多様であることは言うまでもない。全球的な環境対策への合意を形成するためにはこれらの多様な価値観の中から共通項、妥協点を見いだす必要がある。さらに、継世代の価値観や生存権の尊重など現存しない世代への配慮（世代間の公平性）も必要となる（加藤、1991）。

また、国家はその領土に関する絶対的な主権を保有するという伝統的な近代国家観は、全球的な立場からの包括的な調整や計画を困難なものとする。特に国際社会の構成メンバー数は百数十であり、合意形成に際してすべてのメン

*東京大学生産技術研究所, Institute of Industrial Science, University of Tokyo
(〒106港区六本木7-22-1、E-mail: shiba@shunji.iis.u-tokyo.ac.jp)

バーの意向を知ればよい小さなコミュニティでもなく、大数の法則の成り立つ不特定多数の社会でもない。合意を形成するための困難が特に際立つ集団となっている（田中、1990）。その一方で環境問題に関しては国際機関、NGOなど多様な調整役が登場し、また従来の条約定立一本槍ではなく、「枠組み条約--議定書」アプローチや合意参加への「インセンティブ・ディスインセンティブ」の付与、差異のある義務の付与など国際的な合意形成を促進する工夫がなされ始めている（信夫、1993）。

国内の環境問題では環境政策の検討・実施の制度的枠組みが比較的明確であり、以上のような点に関して必ずしも十分に検討せずとも、対策研究を進めることができた。一方、地球規模での環境対策研究では、研究成果の成果がどのように受け入れられるか、利用されるかまで十分配慮する必要がある。つまり、計画目標などの倫理的、価値論な枠組みや、合意形成や政策実施、遵守状況の監視など制度的な枠組みに関する検討・研究の比重が相対的に大きくなる分野であるといえる。

3. 土地利用に着目した地球環境研究

従来からの土木計画研究は、きわめて粗くではあるが施設指向型の研究と地域指向型の研究に分けることができる。施設指向型の研究とは施設整備の地域への影響（便益や費用）を定量化することを試みる研究や、地域の現況、将来状況から適切と考えられる施設計画を提案しようとする研究である。一方、地域指向型とは地域の環境水準や住民福祉の水準を引き上げるために必要な対策を検討する研究や地域の変化のメカニズムやその制御方法を検討しようとする研究であり、社会基盤施設の整備は重要ではあるが、対策や要因の一部を構成するにすぎない。地球環境問題を対象とする場合、原因の複雑さや地域の広がり大きさなどため、社会基盤施設の整備だけで寄与できる部分は必ずしも小さくなく、地域指向型の研究が中心になろう。しかし、セメント製造が二酸化炭素の主要な排出源の一つであることなどを考えると、社会資本整備事業が資材の生産から維持管理に至る過程で発生する環境負荷を定量化し、それを軽減することを目指す施設指向研究も非常に重要になる。たとえばこうした視点の包括的な研究には（井村、森口、1993）などがある。井村らは内包エネルギーという考え方を使得建設業などの資材消費による直接・間接的なエネルギー消費や二酸化炭素排出量を求め、また国際的な依存関係を定量的に明らかにしている。間接的なインパクトも含めた網羅的な影響評価は「つけ回しをしない」という観点から重要である。大規模建設プロジェクトの費用・便益を地球環境保全の視点から定量的に評価することを試みた研究として（朝倉、1993）がある。地球環境への負荷として二酸化炭素排出を取り上げ、プロジェクトにより排出増、吸収増を推定し、費用便益分析の中に取り込むという実用的なアプローチをとっている。

本章ではこれまで「土木計画」の分野では研究例の多くない地域指向型の地球環境研究に焦点をあて、土地利用に着目した地球環境研究の方向を議論する。

3-1. 地球環境問題と土地利用の関連

地球環境問題における土地利用の役割を示したものが図-1である。土地利用は社会・経済システムに代表される人間活動と生態系（直接的には陸上生態系、間接的には海洋生態系）とのインターフェースと位置づけられる。社会・経済システムのモデル化はメドウズらが開発したワールド3（メドウズ他、1992）や化石燃料からの二酸化炭素放出量予測によく用いられるエドモンズ・ライリーモデル（Edmonds and Reily, 1985）を始めとして比較的研究は進んでいる。一方、土地利用を扱った体系的な研究はほとんどない。土地利用・土地被覆に着目する意義は以下のように整理できる。

- 1）人間活動（社会・経済システム）から土地利用を経由する環境影響を把握する。逆に、人間活動への地球環境変化の影響も把握する。

- 2）資源利用（特に再生可能資源）の賦存量、利用適性、開発費用、利用時の環境影響の抑制のための必要投資額などを把握する。たとえば資源利用やそれに伴う環境影響の技術関数が推定できる。

これまで、化石燃料消費による二酸化炭素放出が検討の中心であったが、図-2に示すように社会・経済システムからの直接排出量を上回る量の二酸化炭素が土地利用の変化（森林の農地化など）に伴って陸上生態系から排出されてきたという推計結果もある。土地利用変化を把握し、そのメカニズムを分析することは人間活動の環境影響を予測し、対策を検討する際の基礎となる。また、海面上昇のように直接的な影響範囲が低平地に限られている場合、被害の程度は人間活動の空間的分布（土地利用）によって決まる。つまり地球環境の変動が人間活動に与える影響の予測にも土地利用という要素は不可欠である。また土地利用は衛星データから比較的容易にモニタリングすることができ、協定などの遵守状況を監視しやすいという対策実施上の利点もある。

森林や農地などの再生可能環境資源に依存する土地利用では、資源の利用適性や利用可能性が土地条件により大き

く異なる。開発・利用に必要な費用、利用時の環境影響、その抑制・防止に必要な費用などはそれぞれの土地毎に推定する必要がある。人類による資源消費の増加を賄うために必要な費用の大きさは持続的な地球利用の可能性を判定するために重要なファクターとなる。こうした資源利用の技術関数は多くの世界経済モデル（たとえば（メドウズ他、1992））や地域開発モデル（たとえば（UNESCO and FAO、1986））の重要な「境界条件」を構成し、そのパフォーマンスを左右する。

土地に着目した地球環境対策にはたとえば以下のようなものがある。

1) 再生可能資源管理・利用方法の改善

- 森林経営方法の改善（保全・再生やエンリッチメントの促進、土地制度の改善など）
- 農地経営方法の改善（適切な利用強度の維持、耕作・作付け方法の改善、土壤保全対策、灌漑施設整備、土地制度改革など）
- 水資源管理（流域からの汚濁負荷排出の管理（土地利用管理）など）

2) 国際的なゾーニング

- 森林保全地域の指定
- 森林再生や農地再生の地域指定と連動したリハビリ・プロジェクトの実施

3) 都市・国土計画の改善

- 巨大都市の成長管理・インフラ整備
- 分散・自律型の都市・国土構造への誘導
- リスクの高い地域への人口集中の抑制

土地利用変化のメカニズムを分析し、土地条件に応じた資源の利用適性などを定量的に評価することでこれらの対策の効果や費用を定量的に評価し、新しい対策オプションの検討することが可能になる。

3-2. 土地被覆・土地利用に着目した地球環境研究の現状と方向

土地利用や土地被覆に着目した地球環境対策研究の現状を概観し、その方向をより詳細に論じる。

3-2-1. 自然・農業的土地利用に関わる地球環境対策研究

1) 環境変化（温暖化）に起因する影響予測・分析

地球環境の変化、特に温暖化が自然資源の賦存量や利用適性に与える影響を推定しようとする研究は多い。たとえば、水資源への影響（竹内、1990）、流出状況への影響（寶、1992）、農業生産への影響（内島、1991）、林業への影響（桜

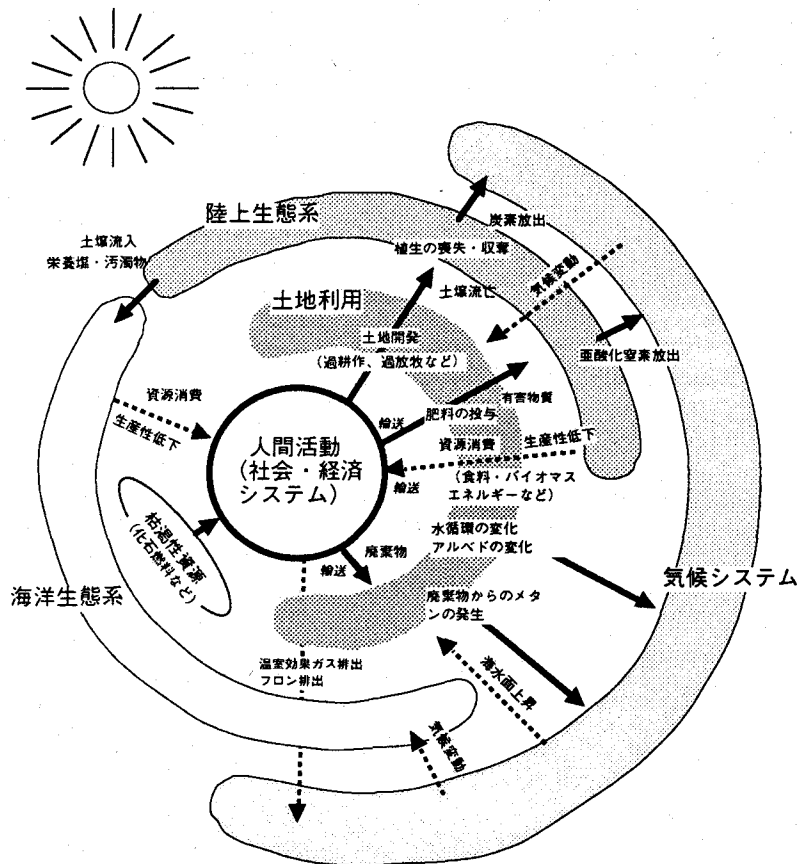


図-1 土地利用を経由した社会・経済システムと地球環境システムとの相互作用

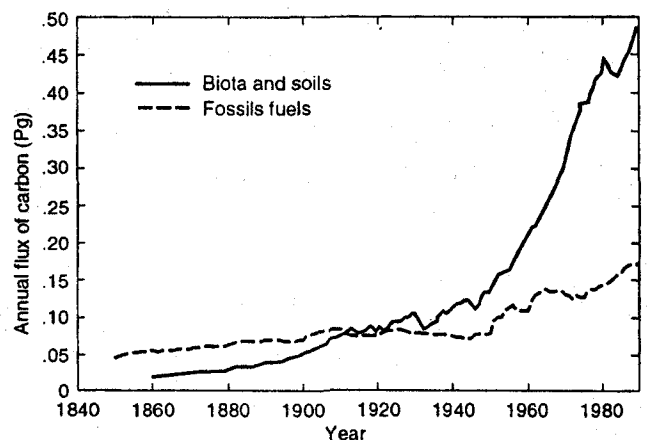


図-2 土地利用変化に起因する二酸化炭素の大気中への放出量（化石燃料消費によるものとの比較）

土地利用変化によるものは（Houghton, 1992）、化石燃料によるものは（Keeling 1973, Marland et al. 1989）。Effects of Land Use Change on Atmospheric CO₂ Concentrations (V. H. Dale eds., Springer Verlag), p.2 より転載

井、1991)、(高畑、植村、1988)、沿岸域への影響(磯部、1992)などがある。これらは地球環境変化を抑制するための対策研究というよりは、環境変化が人間活動に与える影響を抑制しようとする研究であると位置づけられる。これらの多くはGCM (General Circulation Model) による温暖化の予測結果を基礎的なインプット情報としている。

2) 環境への影響の把握・予測

□土地利用変化による炭素の放出

森林から農地などに土地利用が恒久的に変化することにより、バイオマスは定常的に大きく減少する。また土壌に蓄えられていた有機物などが流亡や急速な分解により減少する。こうした土地利用に伴う炭素放出量を気候条件や植生条件などにより類型化(原単位化)し、積み上げたものに(Houghton,1983)

がある。土地利用の変化面積は各国の統計資料などを基に推計している。

土地利用変化に伴う炭素量の変化はバイオマスの変化、土壌中の炭素(有機物)の変化からなる。バイオマス量、土壌有機物の分解速度はともに気候などの土地条件により大きく異なるため、より正確な炭素放出量の推定ためには土地利用変化の位置をより詳細に特定し、バイオマス量や土壌炭素分解速度などをより精度よく推定することが必要になる。しかし、土地利用変化に関する全球的なデータは整備されておらず、大きな制約となっている。現存バイオマス量に関するデータも造林地などで利用できる代用指標レベルのものも含めほとんどないのが現状である。こうしたデータの整備に関する研究動向については次章で整理する。

こうした厳しいデータ制約の下で、南および東南アジアでの土地利用変化による炭素放出量を推定しようとした研究として、(Iverson,L.R.et.al. 1993)がある。まず人間の介入がなければ実現していたであろう潜在的なバイオマス量を気候条件、地形条件などから推定するモデルを構築し、次に潜在バイオマス量に対する現存バイオマス量の比をゾーン人口密度で回帰することにより、人間活動によるバイオマス減少量を推定している。比較的単純な方法論でありながら地理情報システムなどを利用し、地域の詳細な条件にマッチした推計を行っている。また、さまざまなデータを組み合わせることによりデータ制約を克服しようとしている点に特色がある。

一方、生態系を構成する炭素の流れをフローごとに明示的にモデル(プロセスモデル)化する方法もある(後藤、1993)。モデルのパラメータは既存の研究・実験事例などを利用して個々に与えられるため、モデル全体の挙動の妥当性の検証に困難がある場合も多いが、物質循環のプロセスを比較的忠実・明示的に表現している点、十分な検証用データがない場合でも一応適用可能な点に特色がある。観測データの少ない土壌中の炭素量が各分解・蓄積プロセスの均衡解として表現され、また気候の変化や植生条件の変化によりどう変化するかを合理的に表現できるなど有望なアプローチといえよう。GISなどと組み合わせることによりパラメータ設定の際の感度分析を効率的に行え、その長所が生かされると考えられる。

□その他の環境影響

土壌浸食は植生などが失われると生じる非常に重要な環境変化である。土壌浸食に関する小地域スケールでの研究の蓄積は膨大であり、USLE(Universal Soil Loss Equation)が水食量の推定によく利用されている。しかし、全球スケールで利用可能な粗い分解能の標高データなどを用いて浸食危険性(風食・水食)を概略評価する手法の検討は十分ではない。また、土壌浸食によって炭素含有率の非常に高い表層土壌が流亡するが、流亡炭素の分解などに関する研究もないのが現状である。

その他、開発された農地での肥料投入による過剰窒素の蓄積や流出も水資源への影響のみならず、温室効果ガスである亜酸化窒素を発生させる可能性がある。これらについても小地域スケールでの研究成果をより広い地域にどうあてはめるかが課題となる。

□土地利用変化の予測

都市圏における土地利用変化は多くの研究があるが、農地の拡大など農業的な土地利用の変化に関する研究、巨大都市の拡大過程に関する研究は多くない。アマゾンへの入植・耕作過程のシミュレーションとして(Dale,V.H.et.al.,1993)があるが、ごく狭い地域を対象とし入植者個々の行動の要因分析が主な内容となっており、土地利用の変化を予測するレベルまで達していない。また森林伐採過程の経済的な要因分析として(Parks,1993)などがあるにすぎず、広域に適用可能なモデルとして構築されたものはないのが現状である。

3) 再生可能資源の賦存量評価、利用適性評価、管理方策

再生可能資源を中心とした資源の賦存量や利用適性(開発・利用費用)評価は、地域開発計画の境界条件を決める。より効率的、より環境影響の少ない資源利用計画の構築に際し重要な情報である。(UNESCO and FAO,1986)はケニアをケーススタディとして経済・生態系モデル(ECCOモデル)を構築し、持続可能な地域開発の長期戦略を検討している。その結果、環境資源を持続的に利用するための施設整備、技術開発投資が確保できることが持続的な地

域開発の鍵であることが示されている。このように必要な投資額の決定関数が結果の妥当性に大きな影響を与える。また世界モデルでもどの予測結果の内容を大きく左右する重要な境界条件となっている。

賦存量評価などを取り上げた研究としては、開発途上国の潜在的な食料生産力を気候条件などから推定した (FAO,1982) がある。また、全球を対象としたものとしては (白、柴崎、1993) や (後藤、1992) があり、衛星データやそこから得られた現存植生図を利用して現在の食料生産性分布や潜在食料生産性分布を推定している。また炭素蓄積の観点から森林保全や再生適地を評価した研究に (柴崎他、1993) などがある。これらの研究は個別文献の寄せ集めや統計資料の集計・分析ではなく全球的なメッシュデータ (10分メッシュ) に基づいて、統一的な方法で評価・分析を行っている。しかし生産に必要な費用や技術水準が明示的には考慮されていない点、また、それらの生産が「持続可能」であるかどうか示すことができていない点に限界がある。

一方、森林管理方法の改善効果やそれに必要な費用を推定した研究として (Winjum, et.al., 1992) がある。Agroforestry, Afforestationなど森林管理の改善方法を整理し、その効果を推算している。しかし、適用可能面積などは既存文献からの情報であり、全球的な適地分析などに基づいていないという点で、効果の推定方法には改善の余地がある。

今後、自然資源の管理・利用方法の改善方策やその適用可能性を土地条件とより明確に関係づけ、地域に応じた必要費用などの推定を行うことが必要である。また自然条件ばかりではなく地域社会・経済条件も含め持続可能性に関する条件を明確化し、資源の利用適性評価に取り込むなどの課題がある。

3-2-2. 都市的土地利用に関わる地球環境対策研究

a) 環境への影響の把握・予測

今後も地球的規模で都市への人口・活動量が急速に集中することが予想され、都市からの環境負荷の制御が重要な政策課題となる。都市からの環境負荷の排出強度には産業構成や人々のライフスタイルなどの影響もあるが、その規模や空間的な形態、インフラ整備の水準なども支配的な要因であることが想像される。都市の規模、国土スケールでの都市分布形態などと交通エネルギー消費との関連を分析したものに (松岡他、1993) がある。中進国から先進国を中心とした分析により、都市の分散化が交通エネルギー消費の削減に効果のあることを示している。国土計画スケールでの対策の重要性が示唆される。(松尾、林、1994) はロンドン、バンコック、東京、名古屋を経済発展段階を踏まえながら比較し、後発都市ほど早い時期から広域化すること、広域化によって交通エネルギー消費が増加することを示し、広域化を防止するための都市計画法制などの整備が必要であることを指摘している。

都市に人口や活動が集中するに伴い、廃棄物も集中的に発生する。廃棄物処理における地球環境影響は埋め立て地などから発生する温室効果の高いメタンガスなどがあるが、その発生量などを多くの都市について推計した研究はない。

b) 地球環境変動による環境被害の防止

地球環境変動による都市域への被害は、海面上昇によるものが当面重視されている。バンコックなど低平地に膨大な人口が集中する開発途上国の巨大都市では特に被害が深刻であることが予想され、被害の推定はVulnerability Assessmentとして行われている。地域では被害の推定に必要な精密な地形標高データが整備されていないことが多く、正確な被害推計の障害となっている。

3-2-3. 地球環境対策としての総合的な土地利用対策

環境影響を抑制するために都市の規模や配置、あるいは都市圏内構造を計画・誘導する、あるいは森林、農地などの環境資源の管理、持続的な利用を可能にし、同時に大都市圏への人口流出圧力を食い止めるなど、地球環境対策としての総合的な土地利用対策を構想することができる。その結果、グローバルな問題とローカルな問題とのコンフリクトを具体的、効果的に調整し、より実現性のある対策を検討することが可能となる。

こうした総合的、全球的な土地利用構想を提案した事例としては (Doxiades, 1978) がある。Doxiadesはメガロポリスがさらに全球的なネットワークを構成するようになると予想し、それをエキュメノポリス (Ecumenopolis) と呼んだ。さらにエキュメノポリス時代の人間による地球居住のあり方として12のゾーンからなる全球的な土地利用構想を表した。ゾーンは、Real wild life、Natural cultivation、Industrial cltivation、High density cityなどからなる。しかし、これらのゾーニングに際しては炭素蓄積のための保全すべき森林面積や場所など定量的な検討はしておらず、非現実的な部分も多い。一方、(Shibasaki, et.al. 1993) は森林による炭素蓄積と農地による食料生産だけといった非常に限定された条件のもとではあるが、全球メッシュデータに基づく環境資源の利用適性評価に基づいて利用区分の検討を行い、可能な炭素蓄積量と食料生産量とのトレードオフ関係をフロンティア・カーブとして示している。

3-3.今後の展開

人間活動の拡大に対する制約条件をより明確化するために、資源賦存量評価や利用適性評価などの精緻化、定量化などが重要である。さらに、特に人口急増地域における国レベルから大陸規模、さらには全球レベルでの土地利用変化のモデル化、予測がある。土地利用の変化が炭素循環や土壌、水循環・気候システムなどに与える環境影響の度合いや形態は場所によって大きく異なる。環境影響を予測し、その対策を検討するために土地利用変化分布の予測は不可欠である。また、土地政策や環境資源管理方策などの土地利用対策の効果を評価するためにもシミュレーションモデルの開発は不可欠となる。これまで述べてきたとおり、大きなスケールの予測・モデル化に関する研究は行われていない。

4.地球環境の保全・管理を支援する情報環境の整備

-----全球的な土地・環境データとその利用環境の整備

土地利用に関する研究を推進するためのデータ整備研究の現状について概観する。

4-1.土地被覆（植生）・土地利用データ

現在、全球的に時系列比較に耐えられる土地被覆・土地利用データは存在しない。NOAA衛星AVHRRから得られる正規化植生指標の時間変化を分析し全球的な植生図を作成した研究はあるが、全球を約10分メッシュでカバーしているにすぎず、また耕地の区別が困難ななどなどの理由で土地利用変化のモニタリングには利用されていない。しかし、地域的な分析ではオリジナルデータの解像力（地上1kmメッシュ）を生かし森林減少などのモニタリングが行われている。また、各国の農業統計などを集計・編纂し、過去百数十年間の土地利用変化量を全球的に推定した研究に（Houghton, 1983）がある。

詳細な土地利用・土地被覆変化の研究・データ整備プロジェクトは現在進行中であり、主なものは以下の通りである。

1) IGBPにおける土地利用・土地被覆変化研究（北村、1993）

IGBP（地球圏-生物圏国際共同研究）の枠組みの中で土地利用・土地被覆変化を研究するプロジェクトがスタートしている。研究の枠組みがほぼ整理された段階であるように思われる。

2) AVHRR1kmメッシュデータ・プロジェクト

アメリカのEROSデータセンターでNOAA衛星AVHRR画像の1kmモザイクデータが整備されつつある。現在試験的に10日分の画像が一枚作成されただけであるが、今後数年分の画像データが作成される予定になっている。また、アジアではAARS（アジアリモートセンシング連盟）のもとにアジア全域の1kmメッシュ土地被覆データ整備プロジェクトが、上記プロジェクトと共同して始められている（建石、1994）。

3) EPA、NASAによるパスファインダー・プロジェクト（Pathfinder Project）

アマゾン、東南アジア、熱帯アフリカを対象に森林減少をより正確に推計するために、1970年代からのランドサット画像を判読し、90年代までの3時点の土地被覆・土地利用データを作成するプロジェクトである。アマゾンについては既にその一部が報告されている（Skole and Tucker, 1993）。分類は森林・非森林を中心に行われている。東南アジア画像（約600シーン）については国立環境研究所、東京大学、横浜国立大学、千葉大学などを中心とするグループが作業を行うことになっている（安岡他、1994）。

その他、土地利用変化の影響分析に重要なデータとして、標高や植生バイオマスデータなどがある。特にバイオマスデータは炭素放出予測や炭素循環モデルの構築に不可欠なデータであるにも関わらず、現地調査に膨大な労力を要することからデータはほとんど整備されていない。現在、マイクロ波センサーによるバイオマス計測の可能性が検討されており、その成果が期待されている。また植生による純一次生産（光合成による固定量から呼吸による消費量を差し引いたもの）は炭素循環や植被変化による炭素吸収能の変化推定などに重要な役割を果たす。その全球的なモデル開発のためにいくつかの重要なデータが整備されつつある。たとえば、光合成に有効に利用できる太陽光エネルギーの地上到達量などものデータセットである（Eck and Dye, 1991）。一方、人口などのきわめて基本的な社会・経済データについてもGRIDつくばなどでのデータの集積が進みつつある。このようにこの数年の間に研究に必要な最低限のデータは整備されると考えられる。

4-2.地理情報システム

全球規模での環境データや土地利用・被覆データを分析やモデル構築に利用する場合、以下のような問題がある。

1) データ量が非常に多量である。

2) さまざまなソースからの断片的なデータの寄せ集めからなっていることが多い。

データ量は数十GBのオーダーになることも珍しくない。そのため簡単な前処理や表示などにも通常のハード・ソフトでは効率上問題があることが多い。また、データの精度や信頼性がまちまちであったり、未観測域が穴をあけていたりすることが多いため、それを補間し、異常値を発見するなどの作業が重要になる。さらに各種データを地図上に重ね合わせその関連を見ることなどが不可欠な機能になる。こうした機能は地理情報システム (GIS) により基本的には実現されるが、地球環境情報の処理・管理のために必要な機能を特に強化しようとする研究も行われている。たとえば、既存のGISでは平面直交座標系に基づいてすべての機能が構築されているが、球面上に広がる地球環境メッシュデータを緯度経度座標系などでそのまま表現することは蓄積効率や面積計算などに不便である。そのため、球面上でのメッシュ発生方法に関する研究 (柴崎他、1994) などがある。また、与えられたデータから“タイム・スライス”画像を内挿するなどアニメーションや時系列分析機能を強化する研究などがある。近年8mmテープや光磁気ディスクのジュークボックスなど特に大容量のデータ蓄積装置の低価格化が著しく、こうしたコンピュータ環境の構築はハードウェア面からは急速に容易になりつつある。

5. まとめ

地球環境対策検討では、地道なデータ観測から環境システムのさまざまな側面のモデル化、さらに国際的な強調・合意の枠組みの構築方法まで非常に多岐にわたる調査・検討を総合化する必要がある。土地利用はこうした多くの分野をつなぐことができるにもかかわらず、これまでそうした方向の研究が進んでいるとは言いがたい。今後衛星データを中心としてさまざまなスケールの情報が利用できる可能性が広がり、「土木計画学」の分野の蓄積を生かすことができるようになると期待される。

一般に、地球環境に関する研究はデータの制約が非常に厳しい。そのため衛星画像を中心とする地球環境情報ストックを構築・保有していることやそれらへアクセスのしやすいことが研究を効果的に進めるための絶対条件となる傾向が強い。こうした研究インフラの圧倒的に整備されたアメリカで地球環境に関する研究が進んでいることは当然である。わが国でもこの数年、衛星データの受信・アーカイブ (蓄積・管理) 施設が整備される例が多くなってきており、ハード面では徐々にではあるが希望が見えてきている。しかし、多量のデータを処理して、研究用データセットを作成する仕事に対する評価は一般に決して高くなく、データ流通の環境も十分ではない。こうした問題を解決していくことも研究インフラ整備の重要な点であると考えられる。

6. 参考文献

- 信夫隆司 (1993) : 地球環境問題にかかわる合意形成、環境情報科学、22-3、pp.49-53.
井村秀文、森口祐一 (1993) : 国際的相互依存と環境資源勘定：地域・国・地球のエコバランス、第1回地球環境シンポジウム講演集、pp.105-111
田中明彦 (1989) : 世界システム、現代政治学叢書、東京大学出版会
朝倉堅五 (1993) : 地球環境時代に対応した公共プロジェクトの企画および評価の方法論に関する研究、東京大学博士論文
メドウズ他 (1992) : 限界を超えて (茅陽一監訳)、ダイヤモンド社
加藤尚武 (1991) : 環境倫理学のすすめ、丸善
竹内邦良 (1990) : 地球温暖化と水資源、環境工学連合講演会論文集、vol.6、pp.7-12.
寶馨 (1992) : 地球温暖化シナリオのもとでの河川流況の解析、第4回水資源に関するシンポジウム前刷り集 (水資源シンポジウム委員会)、pp.745-750.
内島善兵衛 (1991) : 地球気候変化の食料生産への影響、システム/制御/情報、vol.35、no.9、pp.545-554.
高畑滋、植村滋 (1988) : 森林植生への気候変化の影響、気象研究ノート、162、pp.131-136.
後藤尚弘 (1993) : 炭素循環モデルによる地球温暖化の陸上生態系への影響の予測に関する研究、東京大学博士論文
後藤真太郎他 (1992) : NOAA衛星データを利用した人口収容限界の予測、写真測量とリモートセンシング、vol.2、pp.23-28.
柴崎亮介他 (1993) : 地球規模での森林保全・再生適地評価と地球土地利用計画、生産研究 45巻、7号、pp.26-29
桜井尚武 (1991) : CO2気候変化と森林生産力、農業および園芸、vol.66、no.1、pp.193-200.
磯部雅彦 (1992) : 地球温暖化による海面上昇と沿岸域におけるその影響予測、沿岸海洋研究ノート、vol.29、no.2、pp.169-178.
松岡譲、森田恒幸、有森俊秀 (1992) : 都市構造、都市配置と地球温暖化---都市計画論再考---、環境研究、NO.86、

pp.51-65.

松尾稔、林良嗣（1994）：交通エネルギー消費と環境負荷、地球環境への提言（吉野正敏編）、山海堂、第7章、pp.129-152.

北村貞太郎（1993）：グローバルな土地利用・土地被覆研究の国際的な動向と課題、公開シンポジウム「土地利用変化と地球環境」日本学術会議、1993/10/29

建石隆太郎（1994）：アジア1km土地被覆データセットプロジェクト、作業メモ

安岡善文、本多嘉明、柴崎亮介（1994）：アジアPath-Finder Project、作業メモ

白雪梅、柴崎亮介、村井俊治（1993）：リモートセンシングデータを用いた農業生産性の全球的評価と地球土地利用計画への応用、秋期学術講演会発表論文集、日本写真測量学会、

柴崎亮介、粕谷昌宏、高木方隆（1994）：グローバルGISのための球面分割手法に関する比較研究、写真測量とリモートセンシング（印刷中）

Houghton,R.A.(1983): Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: Net release of CO₂ to the atmosphere, *Ecological Monographs* 53:pp.235-262.

Iverson,L.R. et.al. (1993): Use of GIS for estimating potential and actual forest biomass for continental South and Southeast Asia, *Effects of Land Use Changes on Atmospheric CO₂ Concentrations*, Springer Verlag, pp.67-116.

FAO(1982): Potential population supporting capacities of land in developing world, Technical report of the project.

Dale,V.H. et.al.(1993): Causes and effects of land-use change in central Rondonia, Brazil, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol.59. No.6, June 1993, pp.997-1005.

Parks,P.J. (1993): Economic reasons for forest land-use change: relevance to tropical deforestation and the carbon cycle, *Effects of Land Use Changes on Atmospheric CO₂ Concentrations*, Springer Verlag, pp.329-364.

Edmonds,J. and Reilly,J. (1985): *Global Energy Assessing the Future*, Oxford Univ. Press.

R.Shibasaki., S.Murai.and X.Bai.(1993): Global Planning of Sustainable Use of the Earth -- Potential Applications of Global GIS --, *Proceedings of ISPRS Workshop on Global GIS*, 1993. pp.322-329.

UNESCO and FAO(1986): Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya.

J.K. Winjum, R.K. Dixon, P.E. Schroeder(1992): Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon, *Water, Air, and Soil Pollutions*, vol.64, pp.213-227, 1992.

C.A.Doxiades (1978): *Ecumenopolis-----The Inevitable City of the Future*, (出版社不明)

D.Skole and C. Tucker(1993):Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988, *Science*, vol.260.pp.1905-1910.

T.F.Eck and D.G. Dye (1991): Satellite estimation of incident photosynthetically active radiation using ultraviolet reflectance, *Remote Sensing and Environment*, vol.38, pp.135-146.