

地球利用計画の概念

----- 持続的な地球利用をめざして -----

A Concept of Global Use Planning

---Towards the sustainable use of global environmental resources---

柴崎亮介*、 阿部功**、 本多嘉明***、 村井俊治****
Ryosuke SHIBASAKI, Isao ABE, Yoshiaki HONDA, Shunji MURAI

ABSTRACT; A framework of global use planning is discussed. The objectives of global use planning is to realize both the sustainable use of global environmental resources and the reduction of the human impacts on global environment through investigating more desirable uses of global environmental resources. Under the framework, land suitability analysis is conducted to extract lands for forest conservation and reforestation. Through the suitability analysis, the possible amount of carbon dioxide which can be fixed by reforestation is estimated. And it is demonstrated that the possible amount of crop production and that of carbon dioxide are in a trade-off relation. Finally, research topics to establish global use planning are reviewed.

KEYWORDS; Global environmental resources, Sustainable use of resources, global use planning, global use-environment model, land suitability analysis, forest conservation, reforestation, food production

1 はじめに

人間活動の爆発的な拡大は環境を地球規模で変化させ、人類の生存基盤そのものを危うくし始めている。エネルギーや資源消費の増加の結果、有害廃棄物の排出量が急激に増加している。たとえば化石燃料の消費は酸性雨などの広域的な汚染を引き起こす一方で、大気中に多量の二酸化炭素を放出している。それが地球の温暖化を通じて環境システムの重大な変化を引き起こすことが懸念されている。また、近い将来に再生不能資源の枯渇、採取費用の増大などが予想されている。特に化石燃料は21世紀末には生産量が急激に低下し、エネルギー価格が大幅に上昇することが予測されている。

一方、増大する食料需要を満たすための無理な農地の利用／開発や過放牧は、森林の消失や土壌の劣化・流亡など再生可能資源の重大な劣化を引き起こしている。土壌の劣化や砂漠化は農業生産性を低下させ、爆発的に増加している人口を支える食糧を確保することが将来さらに大きな課題となると予想される。

また、人口が爆発的に増加しつつある開発途上国では農村の疲弊や商品経済の浸透が人口の都市への集中を加速化している。今後人口が一千万人を越える巨大都市が次々と誕生し、都市人口の占める比率も飛躍的に増加することが予測されている。こうした途上国における巨大都市は鉄道、道路、下水道などの都市基盤施設が未整備

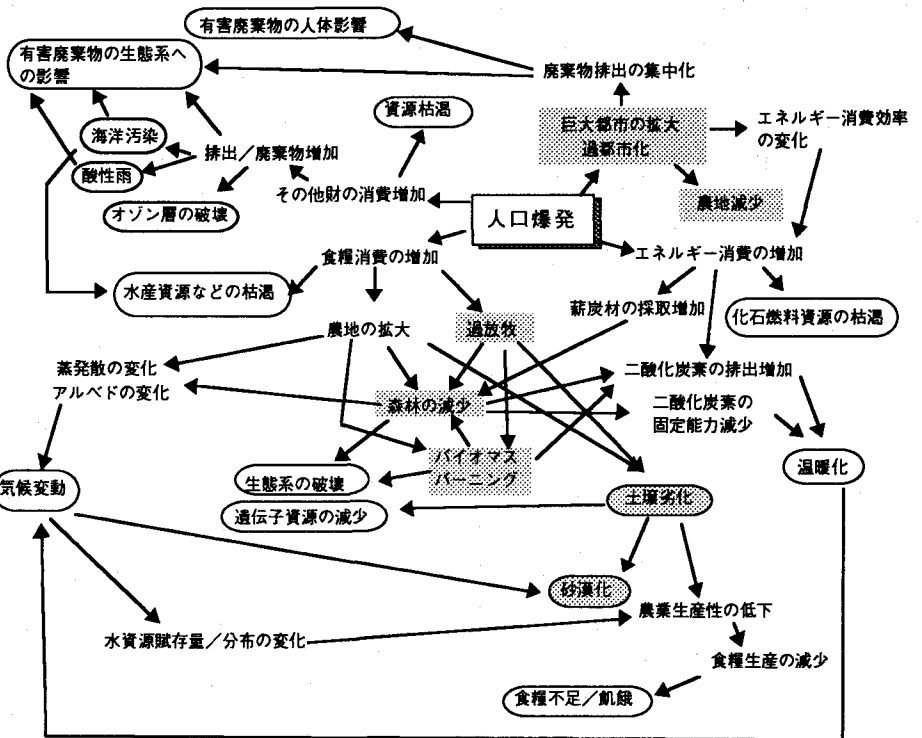


図.1 人口爆発から派生する地球環境問題

○ : 地球環境問題
▨ : 土地(地球)利用の不適切さに起因する現象

* 東京大学生産技術研究所、** 鹿島建設(株)、*** 横浜国立大学、**** アジア工科大学

であり、一人当たりのエネルギー消費効率は農村部よりも低いといわれる。都市への人口集中が地球環境への負荷の増加を一層加速すると予想される。

こうした地球環境問題のさまざまな側面を整理したものが図1である。地球環境問題の要因は大きく、人間活動の拡大に伴う資源・エネルギー消費の増加、環境負荷排出の増加と、収奪的・非持続的な利用による地球環境資源の劣化、消耗に分けられる。地球環境への負荷の少ない人間・社会活動への転換と、地球環境資源の持続可能な有効利用方法の確立が重要な対策として示唆される。

2 地球利用計画

2.1 地球利用計画の概念

主に検討されている地球環境問題の対策には、フロン全廃協定などの法的な規制、環境税や炭素税などの経済的インセンティブによる方法、二酸化炭素固定技術や有害廃棄物の除去技術の開発など技術改善による方法がある。これらは社会・経済システムの漸進的な制御により資源消費量の減少や環境負荷の軽減を目指した方法といえ、その効果や実行可能性は社会・経済システムモデルによるシミュレーションなどにより検討されている。

こうしたアプローチは実行可能な対策案を列挙するには有効であるが、以下のような課題がある。

1) 資源や空間の有限性、持続可能性といった検討の前提となる制約条件の定量化が不十分である。たとえば再生可能資源の多くは地域条件ばかりでなく利用形態によって、収量や持続可能性が大きく変化する。適切な利用形態のもとの持続的に利用可能な資源量を算定することはこれまでほとんど行われていない。また食糧生産に適した地域は森林再生にも適している可能性が高いように、いくつかの資源利用形態は競合する可能性がある。こうした競合可能性の定量化の事例もない。

2) 土地利用や土地被覆の変化に起因する環境変化の考慮が不十分である。社会・経済システムの分析結果から得られる環境影響は廃棄物の排出量だけであることが多く、大規模な土地利用（被覆）の転換に伴う水循環の変化、土壌資源の流亡、気候変動の可能性などの重要な環境影響が十分考慮されない。

一方、地球環境資源の地理的や分布や特質に着目し、持続可能性や環境変動の回避といった観点からより望ましい利用形態を検討するアプローチが考えられる。土壌や植生、風力／太陽光といった自然エネルギーなど地球環境資源は地域によって賦存量や再生可能性

などが大きく異なる。したがって地球環境資源の持続的で望ましい利用形態を検討することは各地域における望ましい利用像、いいかえれば地球利用のマスタープランを描くことになる。国土計画を例とすると社会・経済開発計画論や計量経済モデルによる分析が従来からのアプローチに対応し、国土利用計画論や土地利用・環境モデル、適地評価などによる分析が、このアプローチに概ね対応する。このアプローチと社会・経済システムそのものに着目するアプローチが補完しあうことで、前述のような欠点を補うことができる。その結果、地球の望ましい利用形態を分かりやすく示すことができるばかりではなく、国際的なゾーニングや資源保全協定など新たな政策オプションを提示できる可能性がある。

ここでは、人類の持続的な生存、発展を目標として、地球利用の望ましい姿を描き、地球利用形態を誘導

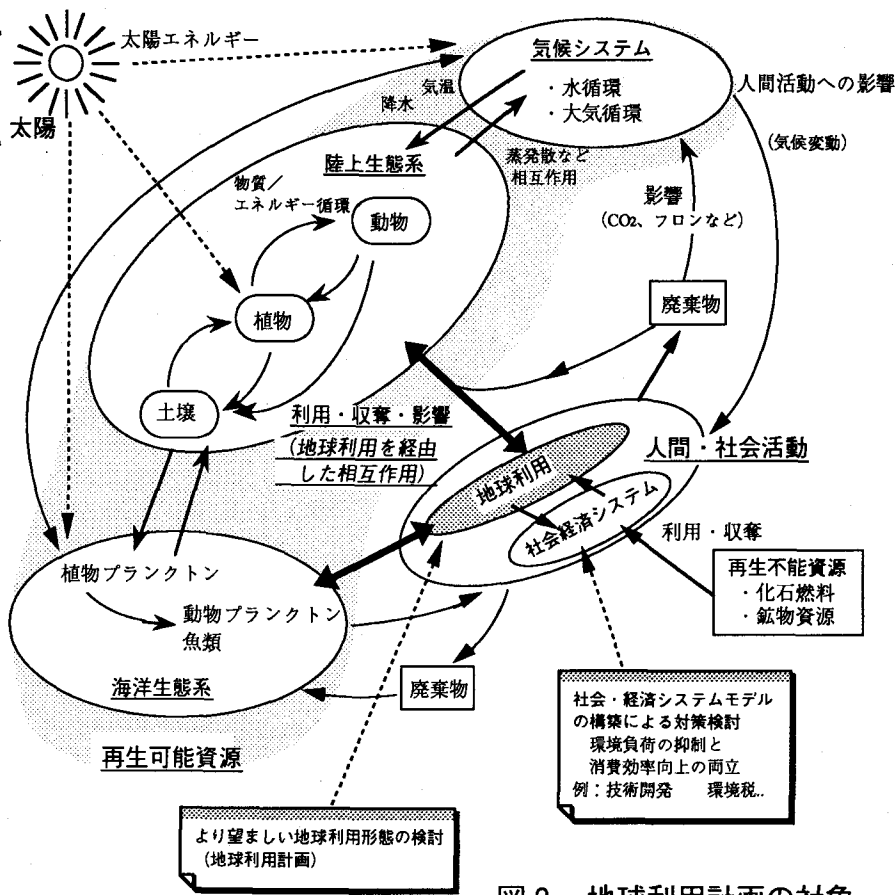


図2 地球利用計画の対象

／制御する方法を検討することを地球土地利用計画、もしくは地球利用計画と呼ぶ。

地球利用計画の対象はいわゆる自然資源のみにはとどまらない。都市も道路や下水道、上水道などの都市基盤施設に支えられた一種の人工的な有限世界である。開発途上国における巨大都市問題は基盤施設や空間の容量をはるかに超えた人間活動の空間的集中が引き起こした環境負荷の爆発的な増加現象といえることができる。そこで都市も物質の循環性、閉鎖性やエネルギーの消費効率を高める努力をする必要がある。すなわち都市の人工的な基盤施設や空間を都市環境資源と呼べば、その環境資源の有効利用や質的／量的改善が重要となる。地球環境保全の観点から最適都市規模や都市形態を論じ、都市活動を誘導／制御する方向を与えることができる。

地球利用計画の対象を概念的に整理したものが図2である。

2.2 地球利用計画の意義

地球利用に着目し、全球的な計画の対象とすることの意義は以下のように整理できる。

(1) 地球環境と人間活動の相互作用をより容易に監視できる。

森林の減少や砂漠化、巨大都市の拡大など人間活動の環境影響の多くは土地利用や土地被覆の変化として容易に監視することができる。また酸性雨といった有害物質の広域的拡散の被害や土地被覆の大規模な変化による気候変動の可能性を検討する際にも土地利用・土地被覆分布が重要となる。

(2) 地球の人口収容力を定量的に推定できる。

地球規模で環境資源の賦存量やその特性を明らかにし、有効な利用形態（地球利用マスタープラン）を想定することで、現状の環境負荷排出率や資源利用技術等の下で持続的に地球に収容可能な人口規模を推定することができる。その結果をもとに技術開発や経済的手段による収容能力改善目標を再検討できる。

(3) 国際協調の基礎的情報を提供できる。

地球利用マスタープランは各国の保有する環境資源の価値を全球的な視点から具体的に明らかにする。人口収容力は全世界的に明確な努力目標を提供し、各国の保有する環境資源とその賦存量は目標達成への寄与の可能性を示す。これらは資源保全協定や環境スワップなどによる国際協調政策検討の基礎となる。

(4) 地球利用に着目した人間活動（開発など）のコントロール政策の可能性を検討できる。

ゾーニングにより国際的に保全すべき区域やリハビリテーション（緑化プロジェクトなど）推進区域などの指定の可能性や効果を検討できる。また、区域指定に連動した環境影響評価（EIA）を世界銀行などの国際機関を通じて行うことにより、適切な開発・利用を誘導できる。

2.3 地球利用計画の検討の枠組み

地球利用計画の検討には以下のような段階を体系的に組み合わせる必要がある（図3参照）。

1) 土地条件・環境資源の現状把握（グローバルモニタリング）

現地調査データやリモートセンシングデータによるグローバルモニタリングを基に地球規模でのデータベースを整備し、各地域の環境、資源の現状や変化の動向を把握する。特にこの数年、人工衛星データを主に用いたグローバルなデータセットの整備が実際に進みつつある。こうしたデータセットを統合的に利用し、地球環境資源の評価や地球利用変化の予測、環境変化への影響など地球計画の検討過程を効率的・合理的に支援するグローバルGIS（Global Geographic Information System）の構築が重要な技術課題の一つである。

2) 人間活動の拡大に伴う地球（土地）利用変化と環境影響の予測

モニタリングデータに基づき、人間活動の拡大に伴う地球規模での地球（土地）利用の変化と環境変化を把握、予測するモデル（地球利用・環境グローバルモデル）を構築する。

3) 望ましい地球利用形態案（地球利用マスタープラン）の作成

「再生可能資源の持続的な利用」、「大規模な環境変化の回避・抑制」が基本的な計画目標となろう。さらに将来人口規模や生活水準、技術レベルなどを想定することにより、二酸化炭素の排出抑制目標値、固定目標値（技術開発による固定、森林拡大による固定など）、食料生産目標値などを設定することができる。持続可能性・実現可能性が高いこと、環境変化への影響が少ないこと、二酸化炭素固定・蓄積量などの目標値をより効果的に達成できることといった観点から地球利用形態を評価、調整し、より好ましい利用形態を各地域の環境資源に割り付け、マスタープランとすることができる。

たとえば潜在植生が森林である地域における森林の再生事業は持続可能性、実現可能性の点でより望ましいと評価される。しかし、森林再生事業に適した地域は農業による食料生産にも適している可能性がある。そこで全球的な目標値の達成度に応じて、森林再生による炭素蓄積と農地開発による食料生産の相対的重要性を評価し、より重要性の高い利用形態を優先的に割り付ける。

さらにマスタープランの実現可能性、社会・経済システムとの整合性、環境変化への総合的な影響など検討・評価

は地球利用・環境グローバルモデルにより可能となる。

4) 国際的ゾーニングなどの政策の検討・選定とアクションプログラム作成

マスタープランの実現を基本的目標として、国際的な資源保全協定、土地利用規制、それに基づいた環境スワップなどの国際協調・裁定、各国の国土計画の調整といったアクションプログラムを検討する。具体的な政策効果の予測には地球利用・環境グローバルモデルが利用できる。

以上のような検討を行うために必要な土地利用、土地被覆といった基本データの整備はランドサットパスファインダープロジェクト (Landsat Pathfinder; NASA) などにより部分的に開始されている。また、グローバルな気象・気候モデルなど必要なモデルや知識の蓄積も次第に進み、地球利用計画の検討をより定量的、工学的に進めるための基礎条件が整いつつある。しかし、それらを体系的、有機的に結び付ける努力はきわめて不十分である。

3. 地球規模での森林保全・再生適地評価と地球利用計画

地球利用計画の枠組みの中で、二酸化炭素固定を目標とした森林保全・再生の適地評価を試みた例を紹介する。

評価の手順、利用するデータをまとめたものが図4である。

ここでは森林保全、あるいは再生適地としての適地度の高さは二酸化炭素固定 (炭素蓄積) 量の大きさと森林保全・再生の容易さから決められる。たとえば、再生できる森林の炭素蓄積量が熱帯林のようにきわめて多く、かつその土壌、気候条件が熱帯林の生育に適し、再生が容易な場合、その地域の再生適地としての適地度は高い。

なお、森林再生の場合、炭素蓄積量は現存植生の炭素蓄積量から再生された森林の蓄積量まで数十年のオーダーで次第に増加すると考えられる。ここでは50年程度を計画期間として考え、期間中の平均炭素蓄積量を森林再生による炭素蓄積効果とする。森林保全については現森林による炭素蓄積量を蓄積効果とし、純一次生産による蓄積量増加は考えない。すなわち、光合成による二酸化炭素固定量と植物の枯死などによる放出量がほぼバランスしていると考え

る。森林保全・再生の容易さは自然条件、利用条件、社会・技術的条件にわけて整理できる。自然条件は気候や土壌条件から評価される。たとえばその土地の潜在植性が森林である地域は森林保全／再生に適している。また森林の保全／再生の容易さは自然条件ばかりではなく、その森林からの木材生産量の大きさにも影響される。たとえば再生能力の上限に近い木材生産を行いながら、森林を保全するには大きな手間をかける必要がある。これが利用条件として評価される。保全・再生のための労働力や苗・種子の確保の容易さなどは社会・技術条件として評価される。今回の評価ではデータの制約から自然条件のみを対象に評価を行っている。

自然条件の評価をさらに詳しく解説しよう。評価はさらに潜在植生と土壌の安定性からなる。潜在植生が森林であり、土壌が安定している地域は保全・再生が容易であると評価する。潜在植生は (本多、村井、1991) が作成したデータを利用している。なお土壌の安定性は水による侵食の可能性、風による侵食の可能性、土壌の肥沃度から評価している。水による侵食可能性は地形起伏が激しく、降雨強度が大きい地域で高い。また風による侵食の可能性は乾

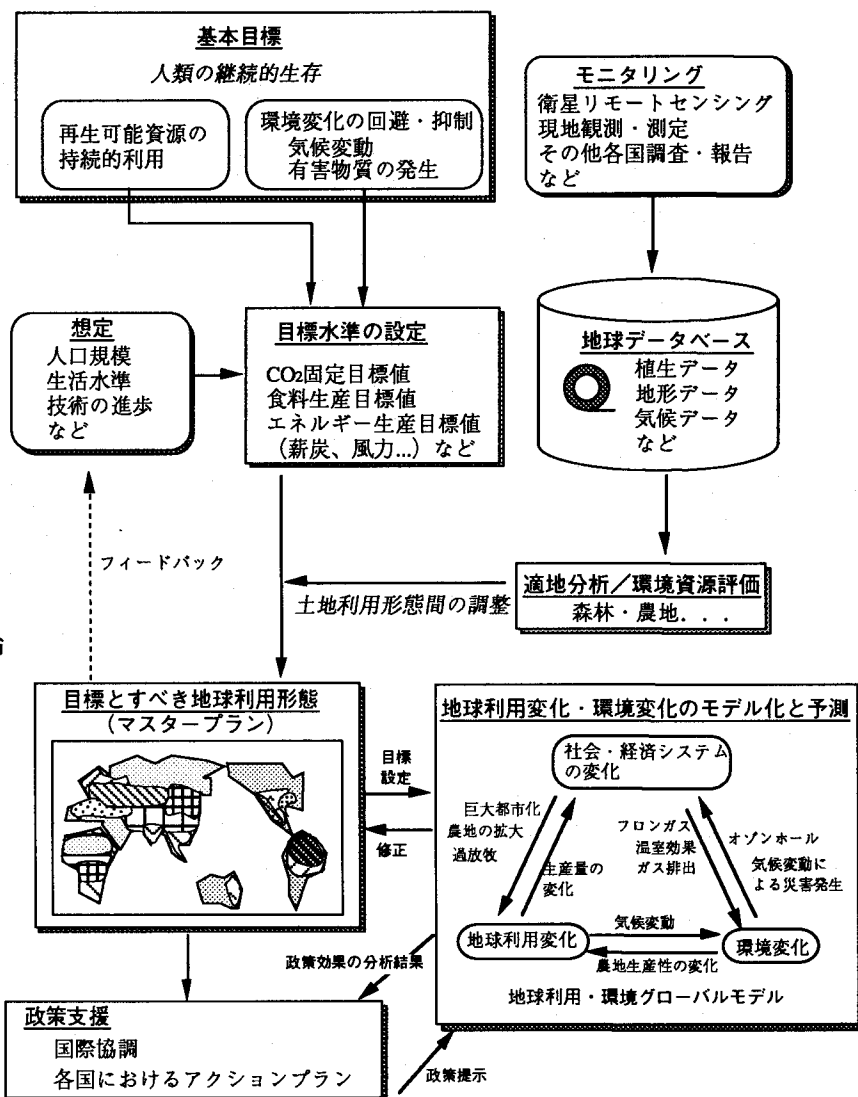


図3 地球利用計画の検討の枠組

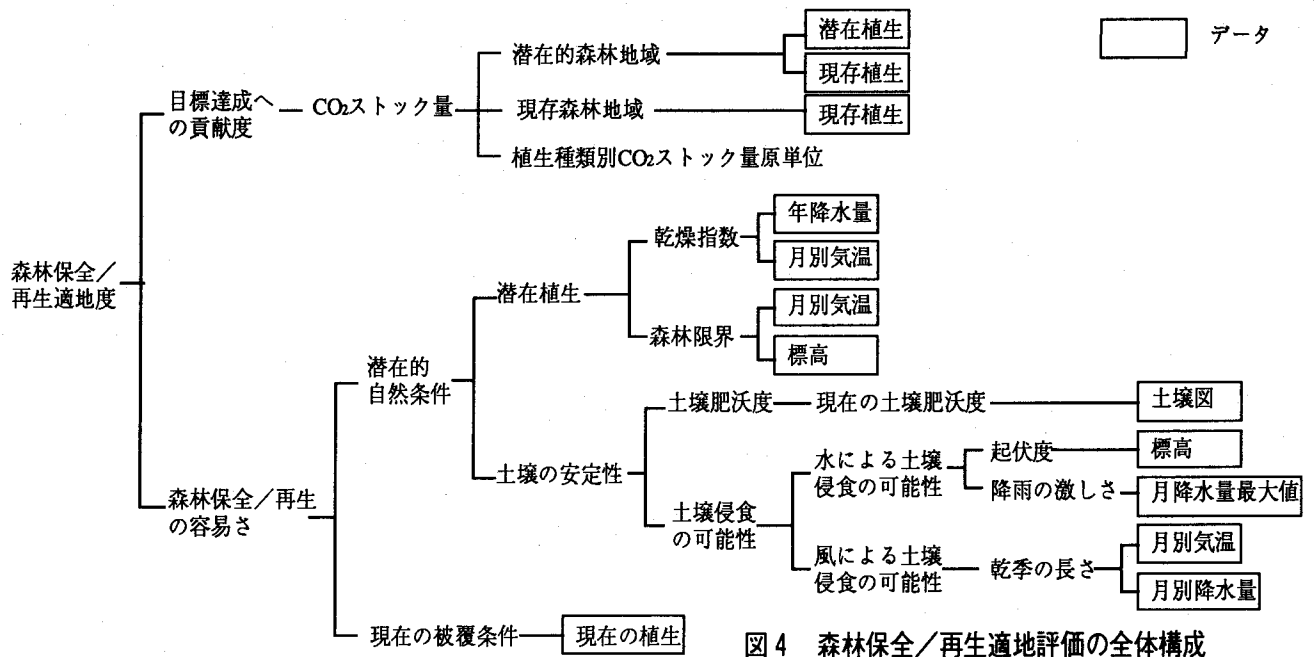
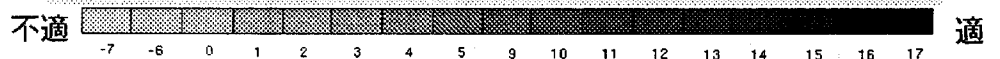


図4 森林保全／再生適地評価の全体構成

期の長さといった指標から評価している。データの制約から風の強さに関する評価は行っていない。

評価における各指標の重みや分級区分の決定は専門家へのヒアリング調査によった。また侵食可能性などの中間評価結果の一部は土壌侵食の現状に関する既存データ（UNEP,1992）と比較することにより妥当性を確認している。

a) 森林保全適地度



b) 森林再生適地度

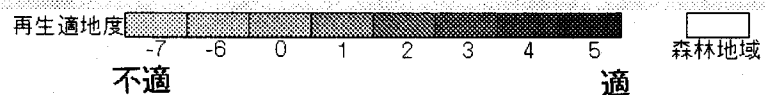


図5 二酸化炭素の蓄積・固定量からみた森林保全・再生の適地度評価結果

評価の例として森林保全適地度、森林再生適地度の分布を図5に示す。

4 森林保全・再生適地評価の地球土地利用計画への適用

4.1 森林再生適地の分布と蓄積可能炭素量

森林再生適地度の分布から森林再生によって新たに蓄積可能な炭素量を推定することができる。森林再生の適地度が高い地域から森林再生事業を実施するとして各適地度まで再生された場合の炭素蓄積可能量を図6に示す。IPCCの二酸化炭素排出予測によると2050年までに約2350億トン(炭素換算)排出される。その全てを森林再生により固定するためには適地度が最も低い0の地域まで森林再生が必要になる。50%を固定する場合には適地度2まで、25%では適地度3まで再生する必要がある。現在耕地や都市域として利用されている地域が再生適地として挙げられている。これは保全／再生適地を自然条件だけから評価しているためである。逆に言えば、森林再生に適した地域は農業生産や居住にも適しており、ほかの利用と競合することが多いのである。

4.2 森林再生による二酸化炭素固定可能量と食料生産可能量からみた人口収容力とのトレードオフ関係の推定

すでに述べたように森林再生に適した地域は食料生産にも適している可能性があり、二酸化炭素固定可能量と食料生産はトレードオフ関係にあることが想像される。両者の競合関係を厳密に考慮するためには全球的な食料生産の適地度の評価が必要となる。しかしまだ評価された例はない。そこで潜在農地(農地として利用可能な地域)を食料生産に投入したときの推定食料生産力および収容可能人口の推定結果(後藤、1991)と森林再生適地度別の累積炭素蓄積可能量(図6参照)から二酸化炭素固定可能量と収容可能人口とのトレードオフ関係を概略的に推定した。

適地度評価における自然条件評価で示したように、森林再生の適地度が高い地域は土壌が肥沃で安定している傾向が強いことから、再生適地度の高い地域がまず農地に転用されると考え、二酸化炭素固定量と食料生産からみた人口収容力との関係を求めた。結果を図7に示す。森林再生による二酸化炭素の固定目標の大きさによって、食料生産可能量からみた人口収容力が変化することがわかる。

5.まとめ

地球環境の保全と人類の長期的な生存条件の確保のために地球利用計画が必要である。本論文では環境資源のモニタリング、マスタープランの作成、地球利用変化や環境影響の予測に基づく政策評価などの地球利用計画のフレームワークを整理した。さらにそのフレームに沿って二酸化炭素の固定からみた森林保全・再生の適地の抽出を試みた。今後、テラバイトオーダの地球環境資源データの効率的整備手法の開発、グローバルGISの開発、環境資源の利用・評価論の検討、地球利用・環境グローバルモデルの構築、望ましい地球利用像を描くための動的・空間的な最適計画手法の開発など体系的な研究が重要である。

参考文献

1)Abe,I., Shibasaki,R.et.al(1992): A global map for forest conservation, Proc. of 13th Asian Conference on Remote Sensing
2)後藤(1992):衛星データを利用したグローバルな生物環境の変動と人口収容限界の予測に関する研究, 東京大学博士論文(工学)
3)本多, 村井 (1991): 世界植生を基準とした人間活動評価について, 日本写真測量学会秋期学術講演会発表論文集, pp1-6.
4)UNEP(1992): World Atlas of Desertification, Edward Arnold.
5)FAO,IIASA(1982): Potential population supporting capacities of lands in the developing world, Technical report of project INT/75P13, 'Land Resource for Populations of the Future'.

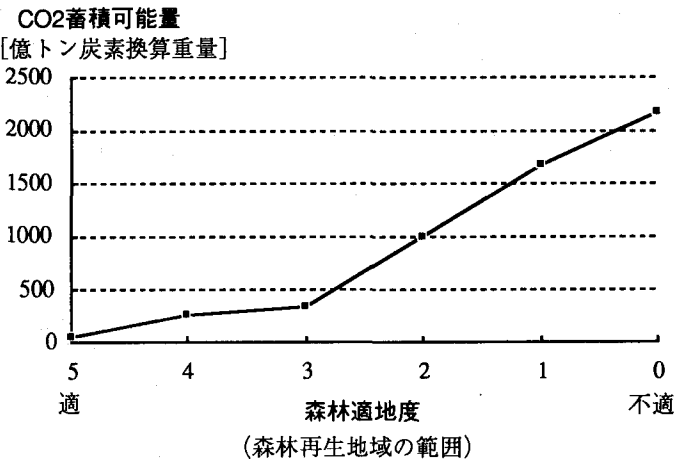


図6 森林適地度別に見た累積炭素蓄積可能量

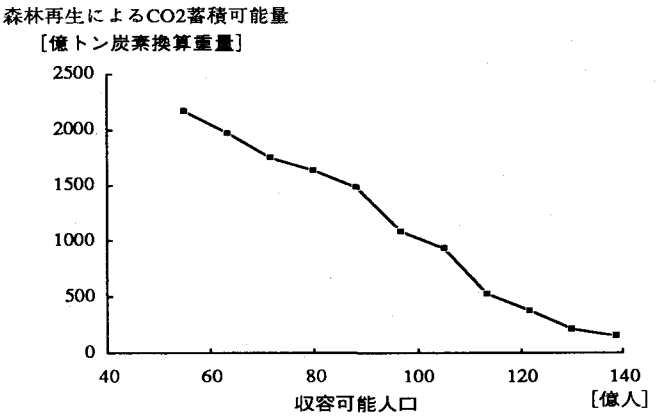


図7 森林再生による二酸化炭素固定可能量と、食料生産から見た人口収容力とのトレードオフ関係