

土地利用に係るライフサイクル影響評価手法の開発 —手法の枠組みの構築及び植物の生産量を 指標とした被害係数の算定—

中川 愛¹・井伊 亮太¹・安部 和子²・林 健太郎³・伊坪 徳宏⁴・稲葉 敦⁴

¹正会員 工修 ²農修 パシフィックコンサルタンツ株式会社 総合計画本部環境部
(〒163-0730 東京都新宿区西新宿二丁目7-1 新宿第一生命ビル)

³農博 ⁴工博 産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター
(〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1)

本研究では、既存の研究事例における土地利用に係るライフサイクル影響評価手法の枠組みを比較検討した上で、通称LCAプロジェクトにおいて開発されている被害算定型の影響評価手法体系に適合した土地利用影響評価手法の枠組みを構築した。本手法では、土地利用被害の保護対象として生態系を選定し、被害評価指標として植物の純一次生産力(NPP)を対象としている。

この手法を実際に利用可能なものとするために、日本の植生や土地利用の分布状況及び気候条件等を反映させた形で、現況及び潜在的な純一次生産力の分布を求め、これに基づき植生分類又は土地利用分類に対応した形式による、土地利用の維持及び土地の改変の被害係数を算定した。

Key Words : life-cycle impact assessment, land use, net primary productivity(NPP), damage factor

1. はじめに

土地利用に係る環境側面を取り入れたLCA研究は現在のところ世界的にみても十分に行われておらず、とりわけライフサイクル影響評価まで含めて考えた場合、一層その傾向が強いと考えられる。しかし、海外においてはすでに手法の検討が進められてきており¹⁾²⁾³⁾⁴⁾、日本においても日本の状況を反映させた土地利用に係るライフサイクル影響評価手法の必要性が高まっている。

すなわち、日本では、経済活動に投入する原材料等の資源の多くが海外から輸入されている一方、近年、廃棄物の最終処分場などの処理施設の立地がさらに困難となってきたおり、不法投棄の増大とあいまって、廃棄物の適正な処理の確保に対する社会の関心が高まっている。よって、これら資源の採取や廃棄物の処分といった活動に伴う環境側面をLCA調査の範囲に算入することが重要である。

現在まで資源採掘等に伴う環境負荷としては、主にエネルギー消費及びそれに起因する環境負荷などが明らかにされており(例えば、匂坂ら⁵⁾、森口ら⁶⁾)、この側面はCO₂などを対象にした分析の妥当性を高める上で重

要であるが、それだけでは資源採掘等に伴う主要な環境側面を網羅しない。例えば、環境庁⁷⁾においては、非再生資源の採掘による主な環境影響として、①地表の直接的な破壊、②採掘や精錬作業に伴う水質汚濁、大気汚染、土壌浸食、③大量の鉱山廃棄物の発生を挙げている。このうち、①及び③の一部は土地利用に係る環境側面としてLCAに組み入れることが可能である。

また、従来のわが国でのLCA研究事例においては、廃棄物の発生量や処分量(埋立量)などが環境負荷として選定されているものは多いが、いかなる環境影響が生じうるかに着目して被害を算定するというよりは、例えばDistance to Target法などにより、廃棄物の処分量などの指標値に基づいたライフサイクル影響評価が行われている事例が多い。また、LCA分野で廃棄物の最終処分による環境負荷を整理したものとして、和田ら⁸⁾がある。和田ら⁸⁾は、以下の項目を提示している。：①最終処分場に埋め立てる際に使用する機器の運用に伴う環境負荷、②最終処分場に埋め立て後、対象廃棄物から排出される物質による環境負荷、③最終処分するために、ある空間を占有することによる環境負荷(自然環境の一部分の占有により失われた環境資源)。これらについて、

CO₂, NO_x, SO_x, BOD, CODなどの環境負荷に着目した事例はあるが、資源採取の場合と同様に、これらが廃棄物の最終処分に伴う中心的な環境影響であるとして一般に認知されているとは考えにくい。

さらに、建築物や土木構造物の建設その他土地の造成等に係る過程が含まれるLCA調査においても、エネルギーの消費や有害物質の排出だけでなく、土地利用の環境側面に着目する必要性が高いと考えられる。

本研究は、以上の背景のもと、わが国のLCAプロジェクトにおいて開発されている被害算定型のライフサイクル影響評価体系⁹⁾に適合する形で、生態系への影響に着目して、土地利用に係る影響評価手法を構築することを目的としている。本論文では手法の枠組みの開発及び植物の生産量を指標とした具体的な被害係数の算定結果について述べる。

2. 既存研究事例における土地利用による影響評価手法の枠組み

土地利用に係る被害算定型のライフサイクル影響評価手法としてこれまでに提案されている研究事例等¹⁾²⁾³⁾⁴⁾における枠組みを整理すれば、以下のような共通の特徴や差異が認められる。

(1) 前提とする土地利用のライフサイクルインベントリの形式

影響評価の前提となる土地利用のインベントリとしては、「維持(占有, 存在)」と「改変(転換, 変化)」に分けて、土地利用(土地被覆)の態様(種類)別に、面積と期間(改変にあつては前者のみ)を把握する形式が(最低限)必要とされている。なお、土地利用の形式(段階)として、占有と改変以外に、放棄を定義するものもある。

(2) 土地利用による被害評価の対象及び他のインパクトカテゴリとの関係

土地利用により想定される被害として、Müller-Wenk¹⁾は土地の持つ各種の機能を整理した上で、自身の先行提案¹⁰⁾¹¹⁾に基づきつつ土地利用による生息地の喪失、生物的生产能力の変化、洪水及び地すべりの増大、気候変動、資源の喪失について扱うべき範囲であるかを検討し、結論としては生息地の喪失を具体的なモデル化の対象として絞り込んで、生物種の多様性の減少を生態系の被害の代表として検討している。

Köllner²⁾は、土地利用による保護対象としての生態系の質への影響に着目した研究であり、生態系の質の属性として生物多様性、生態系機能、自然資源を挙げ、具体

的には生物多様性についてSPEP被害係数(生物種の潜在的な蓄積度に着目した指標)の算定を行った。Eco-indicator99影響評価体系⁴⁾は、Müller-Wenk¹⁾及びKöllner²⁾にデータ及び理論面の一部を負っているが、被害評価対象の選定は基本的には文献1と同様である。

Lindeijer et al.³⁾は土地利用に関連する原因-結果鎖を保護対象と関連させて提示し、自由バイオマス生産の減少と局所的な種の消失という影響発生に着目し、自然の発達空間(development space)への影響及び生物多様性の喪失という観点から、被害係数を構築した。評価範囲に含められなかった影響としては、景観への影響、断片化、乾燥(地下水採取)などを挙げている。

以上の事例においては、土地利用による影響評価の実施は生態系への影響に限定されている。なお、その他の研究事例の中には、土地のもつ自然の機能(侵食防止)などについて物理的な指標を多数設定し、それへの影響評価について検討している事例もある。

Eco-indicator99⁴⁾では、土地利用に伴う農薬散布などの付随的な行為については、他のインパクトカテゴリ(生態毒性)に委ねられる一方、施肥は環境への排出として計上しないとされている。

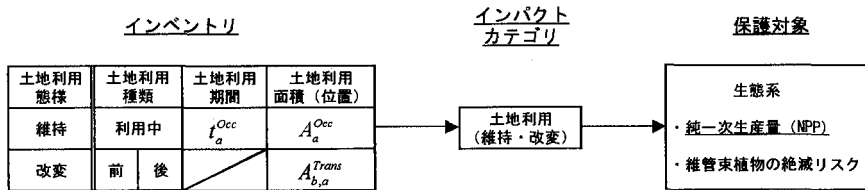
(3) 具体的な評価対象及び評価指標

生態系の被害は文献1, 2, 4においては、主に生物種数(種の多様性)に着目したものである。Lindeijer et al.³⁾においては(地域の)種数を生態系の多様性という面から評価する指標と、生命支持という概念を示度する自由純一次生産力(fNPP)という指標の両方を用いている。fNPPは、NPPのうち、たとえば、畑であれば収穫物の分を差し引いた数値である。

種数についての評価は、全ての研究事例で維管束植物が対象となっているが、それは、植物で全生物分類を代理させるという考え方及びデータ制約に基づくものとされている。Müller-Wenk¹⁾は人工的な土地利用が増加することによりどれだけレッドリスト記載種割合が増えるであろうかを指標としている。文献2, 3, 4は、種数-面積関係の曲線を表現するパラメータを用いているという意味で、比較的類似した定式化であり、またいずれも、種数の減少について参照状態で除しており、改変については改変前が参照状態、占有については「自然の状態」が参照状態とされている。Eco-indicator 99⁴⁾では指標の名称をPDFと呼称している。

(4) 改変と占有の関係、両者による被害の統合

Lindeijer et al.³⁾では、「占有」の評価は占有前後の土地の状態をどう設定するかという問題が生ずるとして、改変と占有の被害量の統合を行っていない。Müller-Wenk¹⁾では、改変について「再生時間」を被害量に乗



図一 1 本研究における土地利用に係る影響評価の枠組み

じている。具体的には、回復時間30年の変化の被害量は30年間分の占有の被害量と同一である。Ecoindicator 99⁴⁾では、変化については、PDFに回復時間を乗じている。

(5) 変化・占有される対象区域の外部への影響

Ecoindicator 99⁴⁾では、変化・占有対象区域の外部についても被害が発生するとし、これを検討しており、その被害量は対象区域の被害量の一定割合であるとしている。一方、Lindeijer et al.³⁾ではそういった周辺部については考慮せず、ただし、断分(断片化)が取り上げるべき問題だが、同研究における手法では被害を表すことができないのが課題としている。

(6) 評価対象の地理的範囲

文献1, 4はいずれも評価対象範囲が欧州と限定的だが、Lindeijer et al.³⁾は枠組みの検討のほか、オペレーショナルな手法とするために、むしろ全球規模での参照値を緯度、高度などのおおまかな区分別に与えることに主眼を置いている。さらに、各種資源に対するデフォルト値(占有)を提示し、欧州での廃棄物埋立、道路交通等での試算を行っている。

3. 本研究における土地利用に係る被害量評価の考え方

(1) 本研究における土地利用に係る影響評価の枠組み

本研究においては、土地利用態様(行為)を、大きく、土地の**変化**(土地利用の転換、変化)と土地利用の**維持**(土地の占有、存在)とに分けて、評価方法の枠組みを設定した。なお、土地の放棄は変化の一種(逆の過程)として扱うものとした。同様に、環境修復は、インベントリに計上された場合に、マイナスの被害量として評価するものとする。

被害の評価の対象としては、土地利用によって主要な環境影響が発生している保護対象と考えられる生態系をまず選定し、その指標としては、上述のLCAプロジェクトにおいて開発されている影響評価体系における他の

環境影響領域と共通のものとして、植物の純一次生産量(NPP)及び生物種の絶滅リスクを採用した。このうち、本論文では、植物の純一次生産量(NPP)を対象とし、被害係数の算定を行った。(図一1)

土地利用の被害係数としては、インベントリ情報との関連で複数のタイプがありうる。具体的には、土地利用分類に対応させたタイプの係数(F1)、より詳細な評価を行うために土地利用位置にも対応させた係数(F2)、さらに、LCA実施者が容易に土地利用ライフサイクル影響評価(LCIA)を実施できるように、資源採取や廃棄物最終処分などの活動種類ごとに活動量に対応させた係数(F3)(当該活動の土地利用インベントリも含める形で算定される係数)の3種類が挙げられる。製品等のLCAにおいては、インベントリ分析においてF2の適用に必要な情報がえられる場合は少ないと思われ、F1及びF3の活用が想定される。本論文では、以下、NPPを指標とした維持と変化の被害係数F1の考え方及び算定過程と結果を述べる。

土地利用インベントリと被害係数F1を基に土地利用に係るライフサイクル影響評価を行う場合には、次式に示すとおり、変化については土地利用の**変化面積**に**変化前後の土地利用分類(変化前b、変化後a)**に対応する被害係数を乗じることで、維持については**土地の面積**と**占有時間に現況土地利用分類**に対応する被害係数を乗じることで、それぞれ被害量を求め、これらを合算する形式によるものとした。

$$F_{NPP} = \sum_{b,a} F1_{NPP}^{Trans}(b,a) \times A_{b,a}^{Trans} + \sum_a F1_{NPP}^{Occ}(a) \times A_a^{Occ} \times t_a^{Occ} \quad (1)$$

ここで、 F_{NPP} : 土地利用の被害量、 $F1_{NPP}^{Trans}(b,a)$: 土地利用**変化**の被害係数(土地利用分類**b**を分類**a**に**変化**した場合)、 $A_{b,a}^{Trans}$: インベントリ分析結果における土地利用**変化面積**、 $F1_{NPP}^{Occ}(a)$: 土地利用**維持**の被害係数(土地利用分類**a**を**維持**した場合)、 A_a^{Occ} : インベントリ分析結果における土地利用**維持面積**、 t_a^{Occ} : インベントリ分析結果における土地利用**維持期間**、である。

(2) 被害量評価の考え方

a) 土地利用の維持 (図-2 (a))

ある土地利用分類aを期間 $t_0 \rightarrow t_1$ のあいだ維持するとすれば、(自然状態においては)潜在的に可能であった生産性水準(NPP_p)が犠牲となり、実際には現況の生産性水準(NPP_a)にまで抑制される。この失われた純一次生産量を評価することを基本的な考え方とした。ここでは t_0 以前(直前)の土地利用が何であったかということは考慮されない。

上述の考え方に基づき、土地利用aを維持した場合の単位面積当りの被害係数 $FI_{NPP}^{Occ}(a)$ を、現況NPP (NPP_a) と潜在NPP (NPP_p) との差でもって次式のとおりに定義した。

$$FI_{NPP}^{Occ}(a) = NPP_p - NPP_a \text{ (t/ha・年)} \quad (2)$$

b) 土地の改変 (図-2 (b))

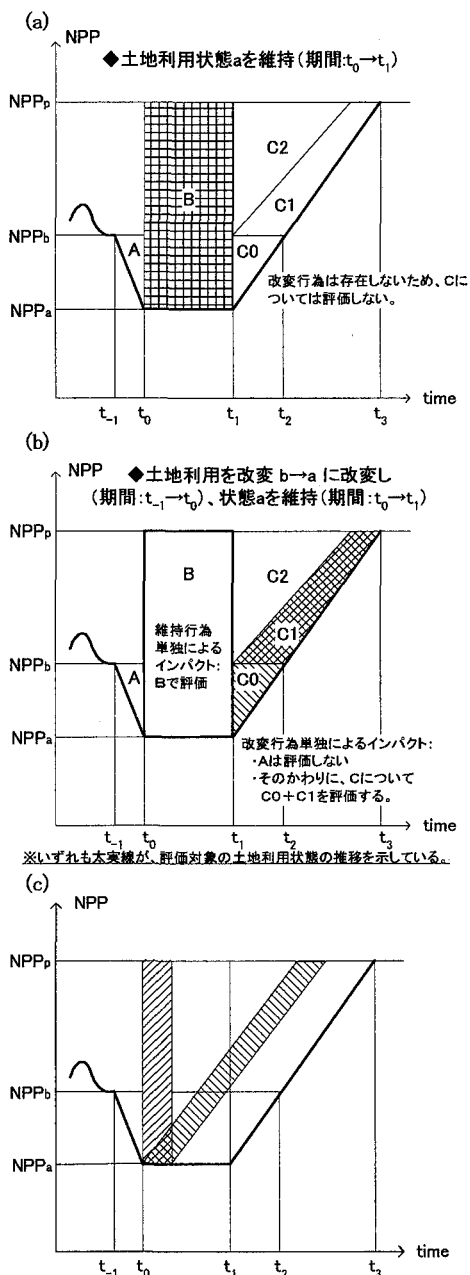
土地利用分類bの土地を土地利用aに期間 $t_{-1} \rightarrow t_0$ において改変したとすると、 $t_{-1} \rightarrow t_0$ が十分短ければ、この期間の生産量の喪失は無視できる量である。一方、改変後に期間 $t_0 \rightarrow t_1$ の間、土地利用aを維持するならば、その間の被害量は「a)土地利用の維持」の考え方によって評価される。

しかし、この土地利用aを、将来、時点 t_1 で放棄した場合、潜在状態 p への回復は改変前の土地利用bから回復する場合よりも遅れることになると考えられる。そこで、この遅れにより失われる生産量を改変の被害量として評価するものとした。

このことは、1年間の土地利用の維持を、土地利用の放棄を1年間遅らせることであるとみなした場合の被害量の評価と考え方が整合することが、図-2(c)から確認できる。

すなわち、土地利用の改変による被害係数算定の基本的な考え方とは、改変前の土地利用への回復におけるNPPの将来の潜在的減少量を先取りして評価することであるが、人工的土地利用間での遷移は自然状態では生じない。そのため、土地利用分類bの土地(生産性 NPP_b)を土地利用a(生産性 NPP_a)に改変した場合の改変前・後のそれぞれの土地利用分類から潜在自然植生の状態に戻るのに必要であろう時間(以下、回復時間) ($T_{b \rightarrow p}$, $T_{a \rightarrow p}$) (年)を用い、改変行為の単位面積当たりの被害係数 $FI_{NPP}^{Trans}(b, a)$ を、次式のとおりに定義した。

$$FI_{NPP}^{Trans}(b, a) = \alpha_{a \rightarrow p} (NPP_p - NPP_a) \times (T_{a \rightarrow p}) \\ - \alpha_{b \rightarrow p} (NPP_p - NPP_b) \times (T_{b \rightarrow p}) \text{ (t/ha)} \quad (3)$$



※いずれも太実線が、評価対象の土地利用状態の推移を示している。

t_{-1} : 土地利用改変前, t_0 : 土地利用改変後, t_1 : 土地利用放棄時点, t_2 : NPP が改変前の水準 (NPP_b) まで回復した時点, t_3 : NPP が潜在の水準 (NPP_p) まで回復した時点

図-2 被害量評価の考え方
(土地利用の純一次生産量指標による影響評価)

表－1 土地利用分類図（植生図）に基づく現況NPPの推計結果の補正方法

筑後モデルによる結果を利用する方法	NDVIを利用する方法
地域別（例えば県別）に、筑後モデルによる NPP の平均値を算出し、これを指標として現況 NPP の補正を行う。これにより、 <u>現況の気象条件が現況 NPP に反映されると考えられる。</u>	メッシュごと又は地域別（例えば県別）に、NDVIを指標として現況NPPの補正を行う。これにより、 <u>植生の状態（クロロフィル濃度）、日照条件等が現況NPPに反映されると考えられる。</u>

表－2 潜在NPP・現況NPPの推計方法と組み合わせ

方法	潜在NPP	現況NPP
方法0	筑後モデル（既存集計値）	自然環境保全基礎調査集計値 ¹⁷⁾ に岩城 ¹⁶⁾ による代表値 I を当てはめ
方法1	筑後モデルにより算定	自然環境情報GIS、岩城 ¹⁶⁾ 代表値 I
方法2		自然環境情報GIS、岩城 ¹⁶⁾ 代表値 II
方法3	潜在自然植生図 ¹⁵⁾ に岩城 ¹⁶⁾ 代表値 II を当てはめ	同上（筑後モデルを用いて補正）
方法4	筑後モデルにより算定	同上（NDVIを用いて補正）
方法5		同上（NDVIを用いて補正）

注1）評価範囲は次のとおり： 緯度：24.03976～45.55351°， 経度：123.734～145.5002°

注2）使用データによって、有意なデータが得られるメッシュ範囲が微妙に異なっているため、本研究においては、全てのデータから有意なデータが得られるメッシュのみ計算対象とした。（沖縄県は筑後モデルによる潜在NPPマップがないため、那覇市の気候平年値（1961年～1990年）を用いて算出した潜在NPPの値を全てのメッシュに割り当てた。）

ただし、 α は一律、1/2とした（線形にNPPが回復するとした）。また、回復時間は、遷移度¹²⁾の概念で用いられている値（図－3中に示す）として設定した。

$$NPP = \sum_{i=1}^n npp_i \times A_i \quad (4)$$

ここで、 npp_i ：植生分類別単位生産力（t/ha/yr）， A_i ：植生分類別占有面積（ha）， n ：植生分類，である。

具体的には、 A_i については、第3/5回自然環境情報GISのデータセットについて、約900に及ぶ植生群落分類を岩城¹⁶⁾に示された $n=30$ 植生分類に統合し、 $0.00125^\circ \times 0.00125^\circ$ のメッシュ植生図を作成することで求めた。（改変による被害の算定においては、 NPP_b として第3回調査結果を、 NPP_a として第5回調査結果を使用した。維持による被害の算定においては第5回調査結果を使用した。） npp_i については、岩城¹⁶⁾による各植生別のNPPの代表値（IとIIの2種類）を採用した。

なお、①の方法については、同一の植生分類ならば、全国のどの地点においても、現況NPP(t/ha)は同一として算定されることになるが、実際には、気候条件等を反映して、同一植生分類においても現況NPPは異なっていると考えられる。そこで、この点に関する補正方法を検討した。具体的には、表－1に示す二手法である。

(2) 被害係数の算定

表－2に示す6通りの方法で潜在NPP及び現況NPPを組み合わせ被害量を算出した。メッシュ植生図及び岩城¹⁶⁾の代表値IIから計算したNPPの分布と方法5で補正に用いたNDVIを図－4に示す。

これらの結果を比較検討し、方法5による算定結果が最も妥当であると判断した。（判断根拠の一つとして用

4. 植物の生産量（純一次生産量NPP）を指標とした被害係数の算定

(1) 算定手順及び使用したデータとモデル

全国を対象とした潜在NPP及び現況NPPの分布状況を求めることにより、日本の状況に対応した上述の被害係数の具体的なデフォルト値を算定した。

a) 潜在NPPの算定

潜在NPPの分布の推計は、筑後モデル¹³⁾¹⁴⁾による方法（気象庁観測平年値と農業環境技術研究所地球環境研究チームから提供を受けた気候メッシュデータによって算定した。）と潜在自然植生図による方法（潜在自然植生図¹⁵⁾上で植生分類ごとに対応するNPP値¹⁶⁾を与えた。）の2種類により算定を行った。

b) 現況NPPの算定

現況NPPの分布の推計方法については、①現存植生図上で植生分類ごとに対応するNPPを与える方法、②衛星データを利用した方法、③プロセスモデルによる方法が考えられたが、このうち、②について試算した結果、少なくともNDVIのみを利用する簡易なモデルでは、日本のみを対象とした地理的精度では当てはまりが悪いと考えられた。

本研究では、必要なデータを入手できた①の方法で、次式により算定を行った。

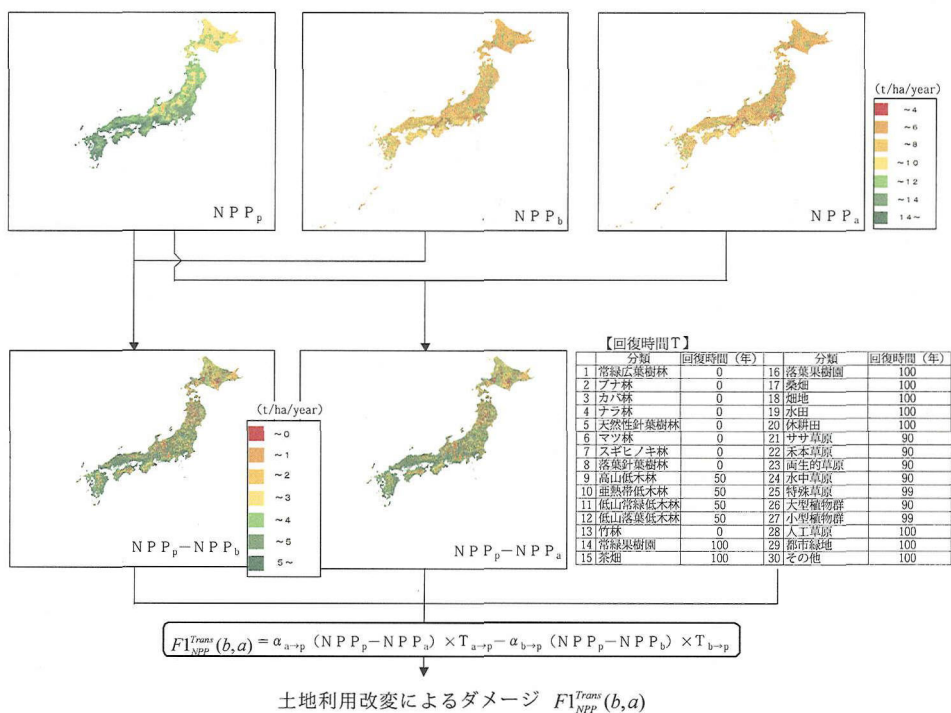


図-3 土地の改変による被害係数の算定フロー

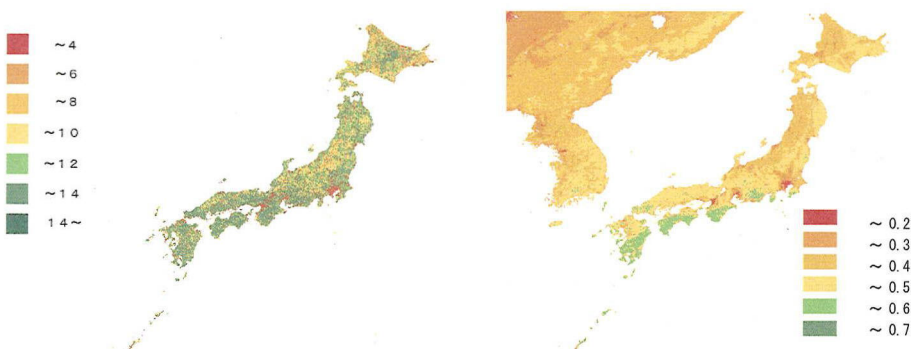


図-4 方法5で岩城(II)と自然環境情報GISより算定した現況NPP(左)(t/ha/y)(補正前)と補正に用いたNDVI(右、「1997年東アジア植生指数月別モザイク図」(国立環境研究所地球環境研究センター)による)

いた県別の潜在的被害の算定結果について、採用した方法による結果を図-5に示す。)得られた植生分類別(表-3)の土地利用維持及び改変の被害係数リストは表-5、7のとおりである。

ここで、表-5において、 NPP_p とは、現在の土地利用(植生)がaであるメッシュにおける潜在NPPの平均値である。すなわち、例えば、植生分類29の都市緑地であれば、現在の植生が都市緑地であるメッシュを植生図上で走査し、その位置を特定し、特定されたメッシュ位

置における潜在NPPの値を拾い、これを全特定メッシュに対して行い平均をとって計算したものである。すなわち、算定された改変及び維持の被害係数は各植生や土地利用の全国での地理的分布状況を反映したものである。

なお、NDVIによる補正は次のとおり行った。①植生分類別に年間平均NDVIを集計により求める。②NDVIは理論上-1~1の値をとるため、各メッシュの現況NPPに次の補正係数 $C_{[j]}$ を乗じる。

表-3 植生分類

1	常緑広葉樹林	16	落葉果樹園
2	ブナ林	17	桑畑
3	カバ林	18	畑地
4	ナラ林	19	水田
5	天然性針葉樹林	20	休耕田
6	マツ林	21	ササ草原
7	スギ・ヒノキ林	22	禾本草原
8	落葉針葉樹林	23	両生の草原
9	高山低木林	24	水中草原
10	亜熱帯低木林	25	特殊草原
11	低山常緑低木林	26	大型植物群
12	低山落葉低木林	27	小型植物群
13	竹林	28	人工草原
14	常緑果樹園	29	都市緑地
15	茶畑	30	その他

表-4 土地利用分類

No.	分類 (使用)	含まれる細分類
1	田	田
2	畑	畑, 空地(一部)
3	果樹園	果樹園
4	その他の樹木畑	桑畑, 茶畑, その他
5	森林	広葉樹林・竹林・針葉樹林・しゅろ科樹林, はい松地
6	荒地	しの地, 荒地, 崖(土・岩), 岩, 万年雪, 湿地, 採鉱地
7	建物用地	総括建物, 独立建物/大, 高層建物, 住宅団地, 建物類似の構造物, 独立建物/小, 2戸以上の家屋, 樹林に囲まれた居住地
8	幹線交通用地	鉄道, 道路
9	その他の用地	空き地, その他
10	内水地	湖沼・池, 河川敷(人工利用地は除く), 河川敷内の人工利用地
11	海浜	海浜
12	海水域	海水域

$$C_i[j] = (NDVI_i[j] + 1) \div (NDVI_i^{avg} + 1) \quad (5)$$

ここで, $C_i[j]$: 植生分類 i のメッシュ j の補正係数,
 $NDVI_i[j]$: 植生分類 i のメッシュ j のNDVI,
 $NDVI_i^{avg}$: 植生分類 i の平均NDVIである。

また, 土地利用データセット(国土数値情報1/10細分区土地利用データ(1987~89年))と重ね合わせを行って, 植生分類別(表-3)でなく, 粗い評価になると考えられるがLCA実施者がより利用しやすい土地利用分類別(表-4)の被害係数も算定した。得られた土地利用分類別の土地利用維持及び改変の被害係数リストを表-6, 8に示す。

なお, 土地利用分類データセットについては適用可能なデータが一時点に限られることから, 土地利用分類別の土地改変の被害係数については, 植生分類別の係数の

表-5 植生分類別の被害係数(維持) (t/ha・年)

	分類	NPP _p	NPP _a	$F1_{NPP}^{Occ}(a)$
1	常緑広葉樹林	13	20	-7
2	ブナ林	11	9	2
3	カバ林	9	9	0
4	ナラ林	11	9	2
5	天然性針葉樹林	11	11	0
6	マツ林	12	14	-2
7	スギヒノキ林	12	14	-2
8	落葉針葉樹林	10	10	0
9	高山低木林	9	5	4
10	亜熱帯低木林	—	8	—
11	低山常緑低木林	14	8	6
12	低山落葉低木林	11	6	5
13	竹林	14	10	4
14	常緑果樹園	15	10	5
15	茶畑	14	7	7
16	落葉果樹園	13	10	3
17	桑畑	13	10	3
18	畑地	12	12	0
19	水田	13	11	2
20	休耕田	13	5	8
21	ササ草原	9	8	1
22	禾本草原	12	8	4
23	両生の草原	10	15	-5
24	水中草原	13	1	12
25	特殊草原	11	1	10
26	大型植物群	8	15	-7
27	小型植物群	11	1	10
28	人工草原	10	8	2
29	都市緑地	13	5	8
30	その他	13	1	12

表-6 土地利用分類別の被害係数(維持)

(t/ha・年)

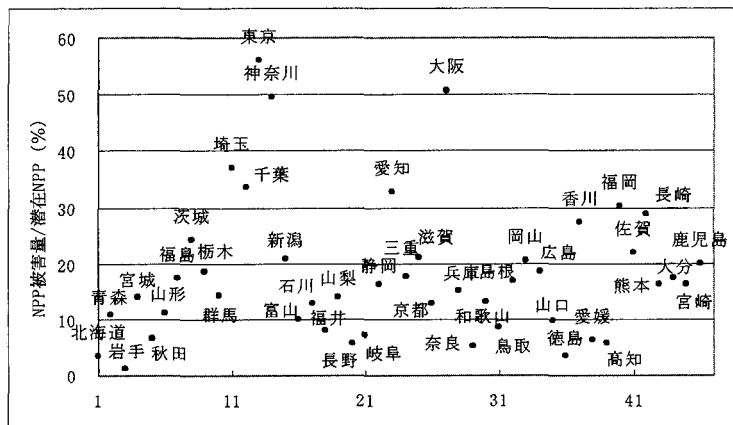
分類	$F1_{NPP}^{Occ}(a)$
田	3
畑	1
果樹園	4
その他の樹木畑	3
森林	1
荒地	2
建物用地	13
幹線交通用地	12
その他の用地	7

場合と異なり, 簡易な方法で算定した。具体的には, 土地利用分類ごとの回復時間($T_{b \rightarrow p}$, $T_{a \rightarrow p}$)は, 各メッシュに植生分類ごとに割り当てた回復時間を土地利用分類ごとに平均した値とし, $NPP_p - NPP_a$, $NPP_p - NPP_b$ については, とともに表-6に示した維持の被害係数 $F1_{NPP}^{Occ}(a)$ の値を用いた。

表-7 植生分類別の被害係数 $F_{NPP}^{Trans}(b,a)$ (改変) (t/ha)

		改変後の分類														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
改変前の分類	1	0	-	-	0	-	0	0	-	-	-	-	175	0	-	-
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	114	-	-	123	0	229	289
	3	-	0	0	0	0	0	0	0	93	-	-	85	-	-	-
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	130	-	-	119	0	223	178
	5	-	0	0	0	0	0	0	0	145	-	-	126	-	-	-
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	100	-	-	127	0	282	275
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	112	-	-	144	0	214	379
	8	-	0	0	0	0	0	0	0	108	-	-	107	-	-	-
	9	-	-124	-	-119	-113	-111	-139	-111	0	-	-	-22	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
	12	-109	-120	-62	-117	-100	-98	-128	-100	22	-	-	0	-146	-	-
	13	-	0	-	0	-	-	0	-	-	-	-	191	0	209	-
	14	-	-	-	-256	-	-	-165	-	-	-	-	-24	-	0	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-152	-	-	0
	16	-	-64	-100	-207	-	-78	-113	-94	-	-	-	45	-133	-	-
	17	-	-	-	-147	-	-82	-154	-	-	-	-	52	-	-	-
	18	36	15	-	55	160	60	44	92	-	-	-	192	-41	128	-
	19	-64	-58	-	-3.5	109	-4.8	-22	44	-	-	-	116	-145	81	235
	20	-	-	-	-408	-	-	-305	-	-	-	-	-165	-	-	-
	21	-	-56	-35	-78	-87	-65	-81	-68	-	-	-	25	-	-	-
	22	-	-87	-77	-98	-	-111	-116	-91	-	-	-	-6.3	-	-	94
	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-613	-661	-397	-573	-400	-495	-595	-433	-	-	-	-341	-	-	-
	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	27	-499	-442	-	-633	-	-	-478	-414	-	-	-	-347	-	-	-
	28	-267	-80	-74	-114	-62	-125	-131	-102	-	-	-	-1.1	-247	-	-
	29	-	-373	-	-384	-	-346	-349	-	-	-	-	-200	-356	-	-
	30	-585	-476	-363	-552	-457	-503	-538	-456	-320	-	-	-379	-587	-442	-
		改変後の分類														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
改変前の分類	1	-	-	92	30	-	-	132	-	872	558	-	-	363	437	612
	2	173	-	-18	23	291	82	86	-	606	470	-323	416	152	460	569
	3	-	-	-124	-	-	42	93	-	422	-317	-	-	80	273	422
	4	69	98	-83	17	302	90	108	-	439	-	-	514	179	356	528
	5	107	134	-59	45	273	72	137	-	-	-	-	-	166	360	551
	6	100	105	22	43	402	54	130	-	430	-317	573	573	235	393	599
	7	101	118	25	40	279	72	129	-	631	622	-	526	222	396	577
	8	30	-	-99	-47	-	74	94	-	438	-	412	122	299	462	-
	9	-	-	-206	-184	-	-50	-14	-	303	-	287	-32	-	306	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12	-	-	-213	-144	-	-28	12	-	341	-	362	20	221	380	-
	13	120	-	83	203	459	-	-	-	608	-	-	278	456	650	-
	14	-25	-	-128	-79	-	-	-	-	438	-	-	84	227	435	-
	15	-	-	-277	-232	-	-	-	-	-	-	-	-70	-	284	-
	16	0	-1.8	-99	-53	-	-	83	-	440	-	439	107	237	443	-
	17	-	0	-96	-52	-	-	89	-	421	-	428	106	236	443	-
	18	102	98	0	46	336	197	196	-	524	-	505	208	336	543	-
	19	53	52	-46	0	292	149	140	-	471	-	461	161	289	490	-
	20	-	-	-344	-319	0	-	-159	-	-	-	-	-143	-0.8	190	-
	21	-	-	-196	-	-	0	6.8	-	350	-	-	12	-	354	-
	22	-96	-85	-186	-141	155	-6.9	0	-	353	-	-	8.1	164	358	-
	23	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	24	-	-	-521	-	-	-	-	0	-	-	-	-293	-127	69	-
	25	-417	-	-539	-470	-	-356	-353	-	0	-	-0.4	-339	-190	4.5	-
	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	337	-	698
	27	-	-	-562	-	-	-344	-347	-	-	-	-	0	-322	-208	5
	28	-107	-107	-206	-156	-	-12	-10	-	333	-	316	0	142	341	-
	29	-242	-248	-339	-295	0.8	-	-158	-	186	-	184	-140	0	199	-
	30	-425	-433	-543	-499	-192	-356	-352	-	-	-4.2	-623	-5.5	-342	-196	0

※植生分類は表-3に示したとおりである。(1:常緑広葉樹林, 2:ブナ林, 3:カバ林, 4:ナラ林, 5:天然性針葉樹林, 6:マツ林, 7:スギヒノキ林, 8:落葉針葉樹林, 9:高山低木林, 10:亜熱帯低木林, 11:低山常緑低木林, 12:低山落葉低木林, 13:竹林, 14:常緑果樹園, 15:茶畑, 16:落葉果樹園, 17:桑畑, 18:畑地, 19:水田, 20:休耕田, 21:ササ草原, 22:禾本草原, 23:両性的草原, 24:水中草原, 25:特殊草原, 26:大型植物群, 27:小型植物群, 28:人工草原, 29:都市緑地, 30:その他)



図－5 県別被害率（土地利用の維持）

表－8 土地利用分類別の被害係数 $F1_{NPP}^{Trans}(b,a)$ (改変) (t/ha)

		改変後の分類								
		田	畑	果樹園	その他の樹木畑	森林	荒地	建物用地	幹線交通用地	その他の用地
改変前の分類	田	0	-68	45	30	-140	-66	486	479	219
	畑	68	0	113	98	-71	3	555	547	287
	果樹園	-45	-113	0	-15	-184	-110	442	434	174
	その他の樹木畑	-30	-98	15	0	-170	-95	456	449	189
	森林	140	71	184	170	0	74	626	618	358
	荒地	66	-3	110	95	-74	0	552	544	284
	建物用地	-486	-555	-442	-456	-626	-552	0	-8	-268
	幹線交通用地	-479	-547	-434	-449	-618	-544	8	0	-260
	その他の用地	-219	-287	-174	-189	-358	-284	268	260	0

5. おわりに

本研究では、既存の研究事例における土地利用に係るライフサイクル影響評価手法の枠組みを比較検討した上で、通称LCAプロジェクトにおいて開発されている被害算定型の影響評価手法体系に適合した土地利用影響評価手法の枠組みを構築した。その特徴としては、改変による被害の意味付けを明らかにすることにより、維持と改変の被害量の合算を可能としたことなどが挙げられる。

さらに、土地利用影響評価における植物の生産量に係る指標（NPP）について、植生分類別の被害係数、及び、LCAへの適用の容易性に考慮し、わが国の統計分類に適合した土地利用分類に対応する被害係数を提示した。これにより、ライフサイクルインベントリ分析において、土地利用の態様（維持及び改変）、利用期間、利用面積を把握することで、土地利用LCAを行うことが可能となった。

今回算定した被害係数は、補正を行うことにより全国の現在の植生の状態及び日照条件等が反映されたものと

なっている。なお、植生分類別の被害係数については、植生分類のうちには全国での合計面積が小さいものがあり、当該植生分類については、係数の算出のために集計した潜在NPPの値の信頼性が低いと考えられることから、被害係数についても信頼性が低いと考えられることに留意する必要がある。

著者らは、本手法の利用可能性を高めるために、①本研究で示した結果は、被害算定型の影響評価手法体系の一貫であるが、ライフサイクル影響評価における正規化に資するよう、全国での集計値（規格値）の算定を行うこと、②国内の土石資源等の採取や各種廃棄物の最終処分に伴う土地利用の被害評価を行うことができるようこれと連携させるために必要なデータ整備を実施してきたところであり、今後は、③海外における資源採取に伴う土地利用の本評価手法への組み入れ、及び、④ケーススタディを通じた土地利用ライフサイクル影響評価の実例の提示を実施していく予定である。

謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果、得られた成果である。

東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター安岡善文教授、東京大学大学院農学生命科学研究科恒川篤史助教授からは、本研究に対して数多くの貴重な助言を頂戴した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

1. Müller-Wenk, "Land Use -- The Main Threat to Species -- How to Include Land Use in LCA", Institut für Wirtschaft und Ökologie, Universität St. Gallen (IWÖ-HSG), 1998.
2. Thomas Köllner, "Species-pool effect potentials(SPEP) as a yardstick to evaluate land-use impacts on biodiversity", *Journal of Cleaner production*, 8, 2000.
3. Lindeijer et al, "Biodiversity and Life Support Indicators for Land-use Impacts in LCA", 1998. (published by Rijkswaterstaat Dienst Weg -- en waterbouwkunde Postbus 5044 2600 GA Delft The Netherlands)
4. Pré, *The Eco-indicator 99 -- A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment -- Methodology Report & Methodology Annex*, Apr. 2000, 2nd ed.
5. 匂坂 正幸, 稲葉 敦, 「資源, エネルギー採取時の環境負荷」, NIREニュース, 1996.
6. 森口 祐一, 近藤 美則「資源輸入に伴う環境負荷の定量化と負荷の配分方法がLCIに与える影響の分析」, 日本エネルギー学会誌, 77(11), 1998.
7. 環境庁, 「環境保全のための循環型社会システム検討会報告書」, 1990.
8. 和田安彦, 三浦浩之, 中野加都子, 「LCAにおけるリサイクルと廃棄物処理, 処分の評価手法とその適用」, 土木学会論文集, No.539/II-35, 155-165, 1996.
9. 稲葉 敦, 水野 建樹, 伊坪 徳宏「日本における被害算定型のインパクト評価手法の開発」, 第4回エコバランス国際会議, 2000.
10. Müller-Wenk, "Depletion of abiotic resources weighted on base of "virtual" impacts of lower grade deposits used in future", Institut für Wirtschaft und Ökologie, Universität St. Gallen (IWÖ-HSG), 1998.
11. Müller-Wenk, "Safeguard Subjects and Damage Functions as Core Elements of Life-Cycle Impact Assessment", Institut für Wirtschaft und Ökologie, Universität St. Gallen (IWÖ-HSG), 1997.
12. 沼田 眞「植物生態学論考」, 東海大学出版会, 1987.
13. Zenbei UCHIJIMA and Hiroshi SEINO, "Agroclimatic Evaluation of Net Primary Productivity of Natural Vegetations (1)Chikugo Model for Evaluating Net Primary Productivity", *J.Agr.Met.*, 40(4), 343-352, 1985.
14. 清野 聡, 内嶋 善兵衛, 「自然植生の純一次生産力の農業気候学的評価(2)日本における純生産量の評価」, 農業気象, 41, 1985.
15. 「日本植生便覧」, 至文堂, 1978.
16. 岩城 英夫, 「わが国におけるファイトマス資源の地域的分布について」, 環境情報科学, 10(2), 1981.
17. 環境庁自然保護局, 「日本の植生(第4回自然環境保全基礎調査 植生調査報告書(1994) -- 全国版 --)」, 自然環境研究センター, 1997.

DEVELOPMENT OF LIFE-CYCLE IMPACT ASSESSMENT METHOD FOR LAND USE -construction of the framework of the method and calculation of the damage factors by NPP-

Ai Nakagawa, Ryouta Ii, Kazuko Abe, Kentarou Hayashi, Norihiro Itsubo, Atsushi Inaba

In this study, first we present the framework of the land use impact assessment method which is designed as a component of the life-cycle impact assessment system of endpoint damage approach in the National LCA project in Japan. Ecosystem is selected as safeguard subject by land use in this method. The output indicator of the endpoint damage in this study is loss of net primary productivity (NPP) of vegetations.

Then, in order to make this method operational, we show the result of calculation of the damage factors by NPP. The factors are based on the calculated actual and potential NPP distribution by using vegetation and land use map, and climatic data, etc. in Japan.