

土地利用に係るライフサイクル影響評価手法の開発

—維管束植物種の絶滅リスクを指標とした被害係数の算定—

Development of Life-Cycle Impact Assessment Method for Land Use

-Calculation of the Damage Factors Using Extinction Risk of Vascular Plants as an Indicator -

安部 和子*

Kazuko Abe

井伊 亮太*

Ryouta Ii

中川 愛*

Ai Nakagawa

林 健太郎†

Kentaro Hayashi

伊坪 徳宏†

Norihiro Itsubo

稲葉 敦†

Atsushi Inaba

ABSTRACT: A method has been developed and operationalised to assess the land use impact on ecosystem as a safeguard subject. The method is designed as a component of the damage oriented approach for life-cycle impact assessment in the National LCA Project in Japan. Output indicator is an increment of extinction risk of vascular plants. It indicates the sum of increased probability of extinction on all the threatened species and is calculated using figures of their lost population due to land transformation.

Statistical model by Matsuda based on the Red Data Book in Japan was applied to estimate the indicator of the extinction probability, with the collected information for the published statements on environmental impact assessments.

KEYWORDS: life-cycle impact assessment, land use, ecosystem, damage factor, extinction risk

1 はじめに

土地利用に係る環境側面を取り入れたライフサイクルアセスメント（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。

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⁵⁾に適合する形で、生態系への影響に着目した、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、維管束植物種の絶滅リスクを指標とした評価手法の開発結果について述べる。

2 被害量評価の考え方

本研究では生態系への影響を生物多様性の面からとらえている。保全生態学での議論⁶⁾や我が国の生物多様性国家戦略⁸⁾を参考に、生物多様性のなかでも特に種レベルの多様性に注目することとし、さらに、植物種の多様性の重要性及びデータ入手上の制約から維管束植物種を対象とした。被害量評価の指標としては、我が国のレッドリスト判定において採用されている絶滅確率⁹⁾を用いて、その土地改変による増加分を算定し、それを用いたライフサイクル影響評価の枠組みを構築した。

なお、この手法については、以下に示す制約がある。

* 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 Environment Dept., Pacific Consultants Co. Ltd.

† 産業技術総合研究所 LCA 研究センター Research Center for Life Cycle Assessment, AIST

- 土地利用の維持（あるいは改変の中長期影響）については評価されない。
 - エッジ効果、断片化（分断）による影響が含まれない。
 - 潜在的な生育地の喪失による絶滅リスクの増大といった要因が含まれない。
 - 評価対象範囲がデータ面から日本に限られている。
- 一方、海外の既存のオペレーショナルとされる手法³⁾⁴⁾に比べ、以下に示す利点を有する。
- 被害量の指標の意味・算定手順が明快であり、かつ、生態毒性インパクトカテゴリでの出力（被害量の指標）との統合が相対的に容易である。
 - 期待多様性損失（「失われた系統樹の長さ」を枝分かれの数の逆数の期待値で評価する）などによって、種間の重み付けが可能¹⁰⁾と考えられる。

3 絶滅リスク増加分の算定方法

レッドリスト判定で採用されている絶滅確率のシミュレーションによる算定手法⁹⁾を用いて、ある種（イヌハギ）の絶滅までの平均年数（以下、「平均余命」という。）を、現状と、改変により個体数が減少した場合の2パターンについて計算し、その結果を比較したところ、この種については減少個体数が100個体程度の場合は、シミュレーションによる算定結果の分布の幅が大きく、増加分を求めることは困難であった。

そこで、本研究においては、統計（回帰分析）モデルを用いて平均余命を算定した。本モデルの概要は以下のとおりである。松田¹¹⁾¹²⁾は、愛知万博の主会場予定地と福井県のLNG基地建設による影響の強さを、植物種が絶滅するまでの「平均余命Tの短縮」またはTの逆数の増分 $\Delta(1/T)$ の対数によって評価している。これらの評価においては、平均余命は以下の式により計算されている。

$$T = a - b \log(N) / \log(1-R) \quad \cdots(1)$$

T:平均余命（年）、N:個体数、(1-R):減少率、a=10.1、b=8.9

統計モデルである式(1)による平均余命の算定では、微小な改変（個体数変化）の前後の被害量の比較が可能となる。ただし、式(1)は、評価の対象が限定されたものであり、本研究においてこれをそのまま適用することは不適当である。そこで、式(1)を一般的に適用可能にした松田¹³⁾による統計モデルを用いて算定を行った。この統計モデルは、我が国の絶滅のおそれのある維管束植物の状況を著したレッドデータブック¹⁴⁾（以下、「RDB」という。）に公表されている絶滅危惧種ごとの「現存する株数」別のメッシュ数および「以前からの増減」別のメッシュ数のデータから、各絶滅危惧種の全国の個体数N、平均減少率R、平均余命Tの算定とRDBカテゴリへのランク付けを行う回帰式となっている。式(1)に生息地数を考慮した補正項が加えられたうえでフィッティングが行われており、シミュレーションモデルの結果への適合性も向上している。

本研究においては、松田¹¹⁾の手法を用い、統計モデルにより算定される平均余命の逆数の土地利用による増加分 $\Delta(1/T)$ を「絶滅リスク増加分」とし、土地利用の影響評価指標とした。具体的には、各事業について、実施区域周辺を含む調査対象区域に生育する絶滅危惧種の平均余命TをRDB記載情報から算定し、当該区域が改変されたとした場合の当該種の平均余命 T_1 を当該区域改変後の全国個体数（RDB記載情報より算定される全国個体数から、当該区域に生育する個体数が消失するとしてこれを減じたもの）を用いて算定し、それらの逆数の増加分 $\Delta(1/T) = 1/T_1 - 1/T$ を影響の大きさとしている。よって、以下で算定した値は、実際の事業実施による影響の大きさを直接評価したものではなく、それらの事業が計画されるような立地状況を反映した潜在的な影響の大きさであると解釈することが適当である。

4 環境影響評価等実施事例における絶滅リスク増加分の算定

4.1 算定手法

環境影響評価等が実施された事業30件について、その図書に記載された植物現況調査結果を用い、各事業の実施区域での土地改変による絶滅リスク増加分を算定した。対象とした事例の事業の種類は、道路建設

事業が 16 件、土石等採掘区域拡張事業が 9 件、最終処分場建設事業が 4 件、鉄道建設事業が 1 件である。算定の具体的な手順は、以下に示すとおりである。

- ① 各事例において、植物の現況調査におけるレッドデータブック記載種の確認状況と調査範囲や事業範囲等を整理した。(以下、現地で確認されたレッドデータブック記載種を「対象種」という。) レッドデータブック発行以前の事例については、各事例において「貴重な維管束植物」として挙げられている種についてのみ、レッドデータブックでの記載の有無を確認し、該当する場合は対象種とした。
- ② 各対象種について、レッドデータブックに記載されたデータから、先に記した統計(回帰分析)モデルを用い、平均余命 T を、また、各事例の事業範囲に存在する個体数分が消失した場合の平均余命 T_1 を算出した。
- ③ 対象種ごとに、平均余命の差 $\Delta T (=T-T_1)$ 、絶滅リスク増加分(平均余命の逆数の増加分) $\Delta(1/T) (=1/T_1-1/T)$ および $\log \Delta(1/T)$ を求めた。

なお、各事例において絶滅危惧種の確認状況に関する情報量の多寡や保全措置の有無等の違いが確認されたため、本調査においては、それらを整理するにあたっての統一的なルールを定めて絶滅リスクを算定した。統一的なルールは、以下に示すとおりである。

- ・絶滅危惧種の確認状況において、個体数が示されず言葉による表現となっている場合は、その他の確認状況の記載をもとに数字への読み替えを行った。
- ・基本的に、実際の植物個体の消失個体数ではなく、事業が立地する土地の潜在的な評価を行うこととした。そのため、移植や保全ゾーンの設置などの対策については、算定にあたっては考慮しなかった。
- ・事業区域のうち、既に改変が行われている地域については、絶滅リスクの計算の対象からは除外した。

4. 2 算定作業から得られた留意事項及び今後の課題

算定作業から、以下のような留意事項が挙げられた。また、結果の信頼性を高めるためには、対象事例の地理的分布も考慮しつつ収集事例数や事業の種類を更に増やすことが望まれる。

- ・環境影響評価書等による事例収集では、事業の種類が道路建設事業に偏る傾向がある。(全国的に環境影響評価対象案件は道路事業が多いこと等による。)
- ・製品の原料を採取する土地や、最終的な廃棄処分を行う土地については、事例の収集数が少ない。また、最終処分場については、海面への埋立の場合には、維管束植物の絶滅危惧種を用いた現在の方法では評価が難しい。
- ・環境影響評価書等における絶滅危惧種の確認状況に関する記載は、事例により情報量(記述の精粗)に差がある。
- ・今回の事例収集がランダムサンプリングであるとはいいがたい。また、事例によっては植物が評価対象外とされ調査が実施されていない場合がある(例えば都市部の道路建設事業等)。

5 被害係数の算定

5. 1 被害係数の区分

絶滅リスクを用いた単位面積あたりの被害係数を算出する際の区分として、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)を検討した。LCAへの適用を考慮し、土地利用影響評価を行うユーザが、原材料の採取や廃棄物の処理については土地利用分類(事業種別)の値(F1)を使用し、土地の改変等については地方/地形別の値(F2)を使用することを想定して、F1およびF2を求めることとした。

5. 2 被害係数の算定手法

「4. 環境影響評価等実施事例における絶滅リスク増加分の算定」において求めた各事例における絶滅危惧種の絶滅リスク増加分を合計し、調査範囲の面積で除して単位面積あたりの絶滅リスクの増加分($\Sigma \Delta(1/T)/ha$)を算定し、被害係数とした。算定例を表1に示した。

表1 ある事例における単位面積あたりの絶滅リスク増加分（一例）

確認されたRDB種		改変前			事業地域での 確認個体数	改変後		土地利用の変化に伴う絶滅リスク		
科名	種名	個体数	減少率	平均余命(年)		個体数	平均余命(年)	ΔT	$\Delta(1/T)$	$\log \Delta(1/T)$
シシタシ	タシシタシ	230	0.133	30.748	1	229	30.738	0.010	1.06251E-05	-4.97
ゴマノハグサ	オオモミコモミ	1396	0.613	88.587	9	1387	88.525	0.061	7.84028E-06	-5.11
ラン	ヤシラン	2801	0.413	67.690	1	2800	67.689	0.002	4.09446E-07	-6.39
合計								0.073	1.88749E-05	
単位面積あたり (ha)								0.0003	6.74103E-08	面積(ha)
										280

5. 3 算定結果

事例ごとに算定された単位面積あたりの絶滅リスク増加分と調査面積を、図1に示すように事業種別に整理した。また、地方/地形別でも同様の整理を行った。

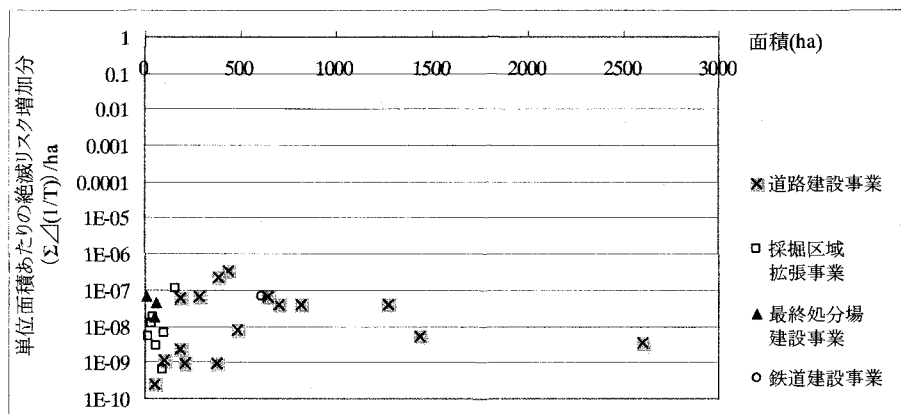


図1 単位面積あたりの絶滅リスク増加分と調査面積（事業種別）

5. 4 考察結果・留意点等

単位面積あたりの絶滅リスク増加分($\Sigma \Delta(1/T)/ha$)を指標とし、収集した事例から算定を行う本手法はLCAに適用可能であると判断した。適用にあたっては、事例ごとに値が異なることから、概数による表示が適切であると考えられた。

事業種別の絶滅リスクについては、以下のような考察が得られた。

- 道路建設事業の事例を比較すると、同種類の事業でも絶滅危惧種の確認状況は異なり、単位面積あたりの絶滅リスクに差が生じた。
- 事業種ごとの差異としては、対象事例では、採掘区域拡張事業よりも最終処分場建設事業の方がリスクが高い結果となった。
- 現在の結果からは、事業種別の中央値をもとに、表2に示すようなデフォルト値(F1)の設定が考えられた。
- 土石の採掘および最終処分場の建設は、資源消費および廃棄物処分と直接リンクさせて評価する形が可能と考えられた。道路の建設については、LCAへの適用に際し、さらなる検討が必要であると考えられた。

表 2 事業種別のデフォルトの被害係数 (F1)

事業種別	道路の建設 (非都市部)	土石の採掘	最終処分場の建設
被害係数 ($\sum \angle(1/T)/ha$)	2E-08	5E-09	3E-08

地方/地形別の絶滅リスク増加分については、図 1 と同様の散布図において明確な傾向が見られず、また、事例数が少ないため統計学的手法の適用も困難と考えられた。そこで、環境省自然保護局生物多様性センターにより提供されている植物 RDB 種公開種メッシュ一覧のデータを用いて RDB 公開種の分布状況を整理し (図 2)、分布状況と絶滅リスク増加分の比較からメッシュ別にデフォルト値を設定する検討を行った。各事例における単位面積あたりの絶滅リスク増加分の桁数と、各事例が位置するメッシュにおける RDB 公開種種類数は、図 3 に示すような構成比を示した。以上の整理より、表 3 に示すような RDB 公開種種類数の区分によるデフォルト値 (F2) の設定が考えられた。なお、RDB 公開種種類数と被害係数の順序が 0 種 (未確認) と 1-2 種で逆転している。これは、0 種 (未確認) のメッシュは、実際に希少な種がない場合と、希少な種が本当は生育するが調査が実施されていないため 0 とされている場合の両ケースがあることの反映と考えられた。

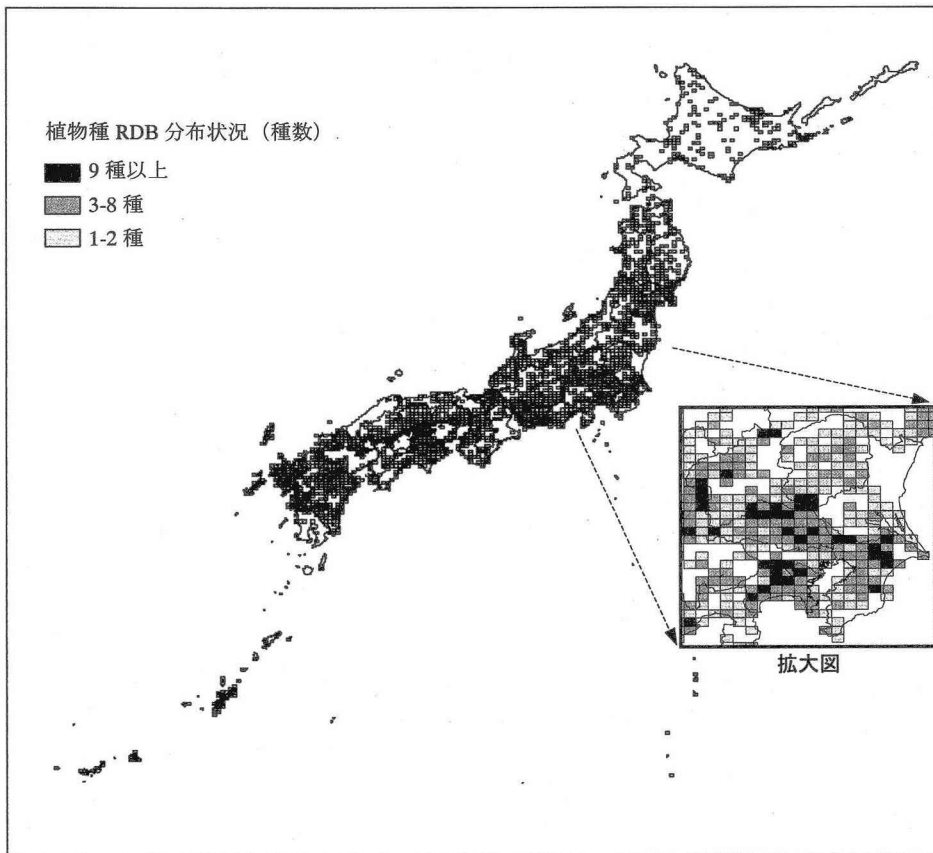


図 2 植物 RDB 公開種の分布状況

表 3 RDB 公開種の種類数区分によるメッシュ別のデフォルトの被害係数 (F2)

RDB 公開種種類数	9 種以上	3-8 種	1-2 種	0 種 (未確認)
被害係数 ($\sum \angle(1/T)/ha$)	5E-07	5E-08	5E-10	5E-09

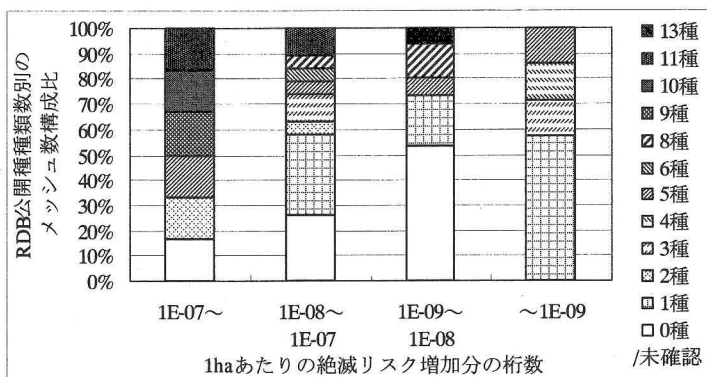


図3 絶滅リスク増加分の桁数とRDB公開種の種類数別メッシュ数構成比

6 まとめと今後の課題

本研究より、このような手法を用いた維管束植物種の絶滅リスクを指標とした土地利用に係る影響評価が可能であることが示された。その有効性については、各事例に対する被害の程度が、どの程度この指標によって示されているか、植物の専門家による判断と対照させる等により補強することができると考えられる。有効性のテストとさらなる事例の収集による被害係数の補強が今後の課題である。

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。

東京大学海洋研究所松田裕之助教授より本研究に対して数多くの貴重なご指導・ご助言を頂戴した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Ruedi Müller-Wenk (1998): "Land Use – The Main Threat to Species – How to Include Land Use in LCA", Institut für Wirtschaft und Ökologie, Universität St. Gallen (IWÖ-HSG).
- 2) Thomas Köllner (2000): Species-pool effect potentials (SPEP) as a yardstick to evaluate land-use impacts on biodiversity", *Journal of Cleaner production*, 8.
- 3) Lindeijer et al. (1998): "Biodiversity and Life Support Indicators for Land-use Impacts in LCA". (published by: Rijkswaterstaat Dienst Weg- en waterbouwkunde Postbus 5044 2600 GA Delft The Netherlands)
- 4) Pré (2000): *The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment – Methodology Report & Methodology Annex*, Apr. 2000, 2nd ed.
- 5) 稲葉敦・水野建樹・伊坪徳宏 (2000): 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.
- 6) 鷲谷いづみ・矢原徹一 (1996): 「保全生態学入門—遺伝子から景観まで」, 文一総合出版, 東京, 270pp.
- 7) 鷲谷いづみ・松田裕之 (1998): 生態系管理及び環境影響評価に関する保全生態学からの提言 (案), 応用生態工学, 1, 51-62.
- 8) 環境庁自然保護局 (1996): 「多様な生物との共生をめざして 生物多様性国家戦略」大蔵省印刷局.
- 9) Yahara, T. et al. (1998): Red list of Japanese vascular plants: summary of methods and results. *Proceedings of Japanese Society of Plant Taxonomists* 13, 89-96.
- 10) 岡敏弘・松田裕之・角野康郎(1999): 「期待多様性損失」指標による生態リスク評価とリスク便益分析, 環境経済・政策学会.
- 11) 松田裕之 (2000): 「環境生態学序説」, 共立出版, 東京, 211pp.
- 12) Oka et al. (2001): Ecological risk-benefit analysis of a wetland development based on risk assessment using 'expected loss of biodiversity'. *Risk Analysis* 21, 1011-1023.
- 13) 松田裕之 (2000): 回帰式による植物レッドリストの判定法, 未発表.
- 14) 環境庁自然保護局野生生物課 編 (2000): 「改定・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック— 8 植物 I (維管束植物)」, 財団法人 自然環境研究センター, 東京, 660pp.