

土地利用の変化と生物多様性の減少 —アフリカの森林開発がもたらす 絶滅生物種数の期待値の推計—

植屋 純平¹, 橋本 征二²

¹非会員 立命館大学大学院理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail:rv0034if@ed.ritsumei.ac.jp

²正会員 立命館大学理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail:shashimoto@fc.ritsumei.ac.jp

アフリカの森林地域を対象として、森林開発(生息地の減少・破壊を伴う土地利用の変化)が生物多様性の減少に及ぼす影響を評価し、それに基づいて適切な森林保護区の設定を検討した。具体的には、森林開発による絶滅危惧種の絶滅種数の増加量の期待値を算出し、その分布と現在の森林保護区との比較検討等を行った。得られた結論は以下の通りである。1)絶滅危惧種の多く生息しているメッシュの絶滅種数の増加量の期待値は高くなる。しかし、1メッシュが減少した際の絶滅確率は生物種の生息地面積の大きさや生息地の森林依存度によって大きく異なるため、生息している種の特性について考慮する必要がある。2)生物多様性の減少への影響が大きい地域が、必ずしも保護区に含まれているわけではない。生物多様性の保護を行うためには、生物種の生息状況を考慮した影響評価とそれに基づいた保護区の設定が必要である。

Key Words : land use, biodiversity, forest protection, impact assessment, GIS

1. はじめに

人口増加や経済成長に伴い人類活動が地球環境に与える影響が問題視されている。人口増加や経済成長は、食料資源の需要量やバイオエタノールなどの生物資源の需要量の増加をもたらす。これらが土地利用の変化を誘発する。土地利用の変化と生物多様性の減少には密接な関係があり、土地利用の変化等による「生息地の減少・破壊」は生物多様性減少の主な要因の一つとされている。例えば、IUCN (国際自然保護連合) は、哺乳類・鳥類・両生類の絶滅要因として「生息地の減少・破壊」が最も大きいと発表している¹⁾。

生息地の減少・破壊の要因としては、食料や木材等の生物資源需要量の増加を満たすための森林から農地への転用や過剰な伐採が考えられる。森林減少を抑制するために植林や造林がなされるようになってきており、地球規模での森林減少は緩まってきたが、南米のアマゾンをはじめ、東南アジア、アフリカで見られる自然の中で形成された熱帯林の減少・破壊は続いている。熱帯林のような複雑な生態系が絡み合って形成された森林には多くの生物種が生息しているが、これらの森林は一度破壊されると修復

は難しいとされている。また、森林植生によって生物種の生息状況が異なることから、森林減少が起こった際の生物多様性への影響も場所によって違いがあると考えられる。土地利用の変化が生物多様性に与える影響を評価する上では、各森林地域にどのような生物種がどれだけ生息しているかといった生物種の詳細な生息状況を考慮する必要がある。

現在、海洋および陸上の自然保護地域は世界中で20万箇所以上設定され、森林における保護区は世界の全森林面積の13.5%を占めているとされる²⁾。高い生物多様性を有する森林のカテゴリー I -VIにおける保護率を見てみると、南米アマゾン地域では25.0%、アフリカ南西部のアンゴラから南東部のタンザニアにかけてアフリカ中南部を横断し南アフリカ北部まで形成されているMiombo-Mopane森林地域では20.2%、北米砂漠地帯で18.7%、ニューギニアで9.9%、アフリカコンゴ地域で8.4%となっており、地域によっては森林開発に伴う生物多様性への影響が大きいにも関わらずそれほど高い保護率を有していないことがわかる³⁾。

生物多様性を保護するうえでは、適切な保護区の設定が必要とされるが、赤坂ら⁴⁾によると、保護区が人類の土地利用に適さない地域(人口の多い地域)、農業などの人類活動

の阻害になる地域では生物多様性への影響が過小評価され保護区が必ずしも生物の保護に適した場所に設定されるわけではないという問題がある。また、分布の狭い種は保護区に含まれにくいために局地的な絶滅が起こりやすく、これにより分布がさらに狭くなりさらに保護区に含まれにくくなるといった絶滅への悪循環を起していると考えられる。生物多様性の保護を行うためには、生物多様性を保護するといった視点から、再度保護区の適切な設定を検討する必要がある。

本研究では、森林開発(生息地の減少・破壊を伴う土地利用の変化)が生物多様性の減少に及ぼす影響を評価し、それに基づいて適切な保護区の設定を検討する。その際、生物種の生息状況を考慮するものとする。具体的には、IUCNのレッドリストの生息分布図を用いて森林地域に生息する絶滅危惧種の分布図を作成し、各森林地域が開発された場合の絶滅種数の期待値を算出して生物多様性への影響量を推計し、重要な保護対象を検討する。なお、多くの生物種が生息するアフリカを事例研究の対象とする。

2. 方法

2.1 絶滅危惧種の森林生息分布図の作成

本研究では、IUCNの指定する絶滅危惧種のうち森林地の生息が考えられる哺乳類・両生類・爬虫類を対象に検討を行う。図-1に示すように、対象生物種のすべての生息地

分布図と生息地域の土地利用図のうち森林地域を地理情報システム(GIS:Geographic Information System)を用いて重ね合わせることで森林生息分布図を作成し、さらに、10km×10kmのメッシュに分割することで森林内の詳細な生息分布図を作成した。

生息分布図については、IUCNのレッドリスト⁷⁾における生物種のうち、陸上哺乳類 5,265 種、爬虫類 3,372 種、両生類 5,972 種の合計 14,371 種で入手できる(Red List Spatial Data⁷⁾)。このため、これらを対象生物種とした。

森林分布図については、世界の土地利用図(FAO: GeoNetwork⁸⁾)の土地利用図⁸⁾のうち「Forest-virgin, Forest-protected, Forest-with agricultural activities, Forest-with moderate or higher livestock density, Wetlands-mangrove」を合わせた範囲を森林地域と定義し、データとして用いた。

2.2 絶滅危惧種の生息種数分布図の作成

本研究では、さらに 1 メッシュごとに生息している陸上哺乳類・爬虫類・両生類の数をカウントし、生息種数分布図を作成した。各メッシュで森林開発が行われた際の絶滅種数の期待値は、生物の生息種数が多ければ高くなることが考えられるが、赤坂ら⁴⁾で論じられているように生物種が多く生息しているからといってそこを保護区に指定すればよいというわけではない。生物種数の分布図と絶滅種数の期待値の分布図と比較して、実際に生物種が多く生息している地域で期待値が高くなるかどうかについて分析し、適切な保護区の設定について検討する。

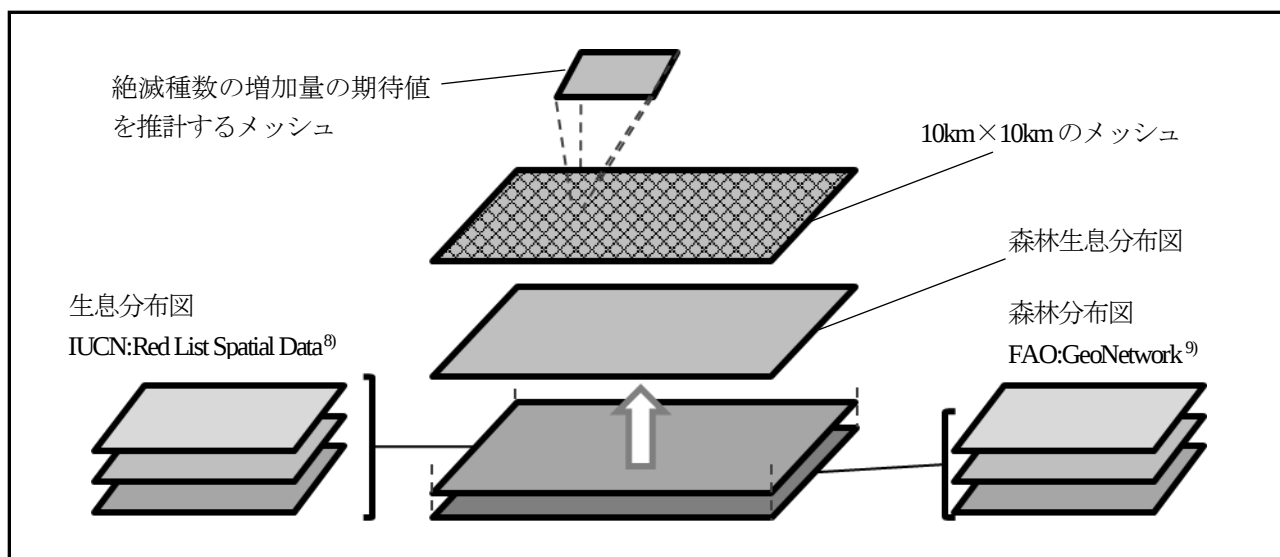


図-1 生息分布図,森林分布図の重ね合わせとメッシュのイメージ

生息分布図⁷⁾：陸上哺乳類 5,265 種、爬虫類 3,372 種、両生類 5,972 種

森林分布図⁸⁾：Forest-virgin, Forest-protected, Forest-with agricultural activities, Forest-with moderate or higher livestock density, Wetlands-mangrove

2.3 絶滅種数の期待値の推計

(1) 生息地減少率と絶滅確率の増加量の関係

森林開発(生息地の減少・破壊を伴う土地利用の変化)が生物多様性の減少に及ぼす影響を、種 i の絶滅確率の増加量 $IEP_{j,i}$ (Increase in Extinction Probability)により推計した。

$$IEP_{j,i} = EP_{j,i}^b - EP_{j,i}^a \quad (1)$$

ここで $EP_{j,i}^b$ はメッシュ j で森林開発が行われた場合の種 i の絶滅確率 (Extinction probability) (-)、 $EP_{j,i}^a$ は森林開発が行われなかった場合、すなわち生息地の減少面積が 0 である場合の絶滅確率(-)である。

絶滅確率は古川ら⁵⁾と Maclean & Wilson⁶⁾を参考に、以下の式により推計した。まず、本研究では森林開発後 1 年間の絶滅確率を推計するものとし、55.628 年間の種 i の絶滅確率を下式により換算するものとした。

$$EP_{j,i} = 1 - (1 - EP_{j,i}^{55.628})^{1/55.628} \quad (2)$$

ここで $EP_{j,i}^{55.628}$ は 55.628 年間の種 i の絶滅確率(-)であり、以下の式より推計した。

$$\logit(EP_{j,i}^{55.628}) = 13.284 \cdot PLR_{j,i}^{10} - 6.793 \quad (3)$$

ここで $PLR_{j,i}^{10}$ はメッシュ j における種 i の 10 年間の個体群減少率(-)である $PLR_{j,i}^{10}$ は下式により推定される。

$$PLR_i^{10} = 1 - \exp(10r) \quad PLR_{j,i}^{10} = 1 - \exp(10r_{j,i}) \quad (4)$$

ここで $r_{j,i}$ は種 i の 1 年間の個体群減少率(-)であり、これは、メッシュ j で森林開発が行われた場合の種 i の生息地面積減少率 $HALR_{j,i}$ (Habitat Area Loss Ratio)を用いて下式より推定した。

$$r_{j,i} = \ln\left(\frac{1 - HALR_{j,i}}{t}\right) \quad (5)$$

$$HALR_{j,i} = \frac{HAL_{j,i}}{HA_i} \quad (6)$$

$HAL_{j,i}$ はメッシュ j における種 i の生息地面積減少(Habitat Area Loss)(ha)、 HA_i は種 i のすべての生息地面積(Habitat Area)(ha)である。動物の場合、ある生息地が失われても生息地を移動することが考えられるが生息地面積減少率で絶滅確率を推計しているため移動に関しても考慮できているものとする。

(2) メッシュごとの絶滅種数の増加量の期待値の推計

上記の推計式を用いて推計した各生物種の絶滅確率の増加量の合計が、メッシュ j における絶滅種数の増加量の期待値 $ISEEV_j$ (Increase in Species Extinction Expected Value) (種数)となる。

$$ISEEV_j = \sum_i (IEP_{j,i} \div A_{j,i}) \quad (7)$$

ここで $A_{j,i}$ はメッシュ j における種 i の森林生息地面積である $JEP_{j,i}$ を $A_{j,i}$ で除すことにより、種 i の森林生息地面積

当たりの絶滅確率の増加量に換算している。

3. 結果と考察

3.1 アフリカにおける絶滅危惧種の森林生息地面積

アフリカにおいて、森林に絶滅危惧種が生息している国は 44 か国あり、IUCN の指定する絶滅危惧種 14,371 種のうち、森林が生息地に含まれる種は陸上哺乳類 4,888 種、爬虫類 3,282 種、両生類 5,869 種であった。

すべての絶滅危惧種の森林生息地面積は 7.2×10^8 [ha] となった。これを $10\text{km} \times 10\text{km}$ のメッシュで分割したところ、メッシュの総数は 97,887 個となった。

3.2 メッシュごとの生息種数

メッシュごとの生息種数の度数分布を図-2 に示す。1 メッシュの最大生息種数は 250 種であり、100 種以上が生息するメッシュが約 90% を占め、赤道直下の中央アフリカで多くの絶滅危惧種が生息していた。中央アフリカ地域では主に、哺乳類の生息種数が多かった。中央アフリカ地域以外で生息種数が多い地域は、水域との関係性が強く、哺乳類以外にも爬虫類・両生類の生息種数が多かった。北アフリカ地域は、大部分が砂漠地帯でありわずかに森林地域があるものの絶滅危惧種の生息種数は少なかった。マダガスカルでは、他の地域に比べて特に爬虫類と両生類の生息種数が多かった。

ここで、生息種数の多かったカメルーンとマダガスカルの生息種数の合計とその内訳を図-3 に示す。国全域に生息する生物種数はカメルーンよりもマダガスカルのほうが多かったが 1 メッシュ当たりの最大生息種数はカメルーンのほうが多かった。最大生息種数のメッシュにおける内訳を見ると、カメルーンでは哺乳類・両生類が大半を占めているのに対し、マダガスカルでは爬虫類が多かった。

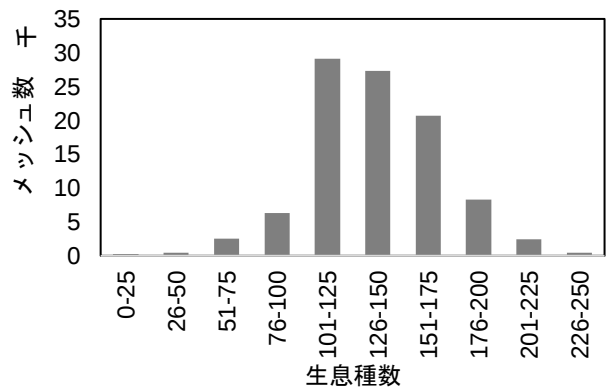


図-2 メッシュごとの生息種数の度数分布

3.3 メッシュごとの絶滅種数の増加量の期待値

メッシュごとの絶滅種数の増加量の期待値を図4に示す。多くのメッシュは 2.0×10^{10} 種/ha以下という推計結果となり、各メッシュの森林が単独で失われることの影響は比較的少ない結果となった。絶滅種数の増加量の期待値が 1.0×10^{10} 種/haを超えるメッシュは全体の7.3%であり中央アフリカ地域や水域に近い森林で高くなった。また、マダガスカルではほぼすべてのメッシュで 1.0×10^9 種/haを超える結果となった。これは、図3で示したようにマダガスカルに生息する絶滅危惧種は他の地域に比べて爬虫類・両生類が多く、その生物種がその地でしか生息できない固有種であるためであり、生息地面積が限られるためである。

3.4 生息種数と絶滅種数の増加量の期待値の関係

生息種数の分布図(図5)と絶滅種数の増加量の期待値の分布図(図6)を比較してみると、中央アフリカ地域が生息種数が多く、絶滅種数の増加量の期待値も大きいことがわかる。このことから、生息種数の多い地域と絶滅種数の期待値の高い地域はほぼ同じような分布を示し、生息種数が多い地域は絶滅種数の期待値が高くなる傾向があることがわかる。しかしながら、詳細に見るとアフリカ東南部に広がる Miombo-Mopane 森林地域では生息種数が多くても期待値が比較的低く、逆にマダガスカルや南アフリカ南部では生息種数は少なくとも期待値が高くなり必ずしもそれがあてはまらない場合が多くあった。

メッシュの生息種数ごとの絶滅種数の増加量の期待値の内訳を図7に示す。メッシュの生息種数が多くなるにつれ絶滅種数の増加量の期待値が大きいメッシュの割合が高くなる傾向が見られるが、生息種数が100種以下であるメッシュでも増加量の期待値が 1.0×10^9 種/haを超えるメッシュが約20%を占めており、この比率は生息種数が200種を超えるメッシュと比較しても大きな値であることがわかる。生息種数が同等のメッシュであれば絶滅種数の増加量の期待値も同等になるわけではなく、生息種数が少ないメッシュでも生物多様性の減少への影響が高い場合がある。これは、生息地が森林に多く依存している種は、森林の減少による生息地減少率が高く、逆に、生息地が森林以外にも多くある種は、森林の減少による生息地減少率が低くなること、また、単純に生息地面積が小さい種が多く生息している場合は、当該メッシュの開発により生息地減少率が高くなること、等が要因である。後者については、3.2で述べたマダガスカルが良い例である。1メッシュ当たりの生息種数は比較的少ないにも関わらず固有種が多いため、にその地域の森林が失われることによって生息地が大きく減少することになり、絶滅種数の増加量の期待値が大き

くなるのである。

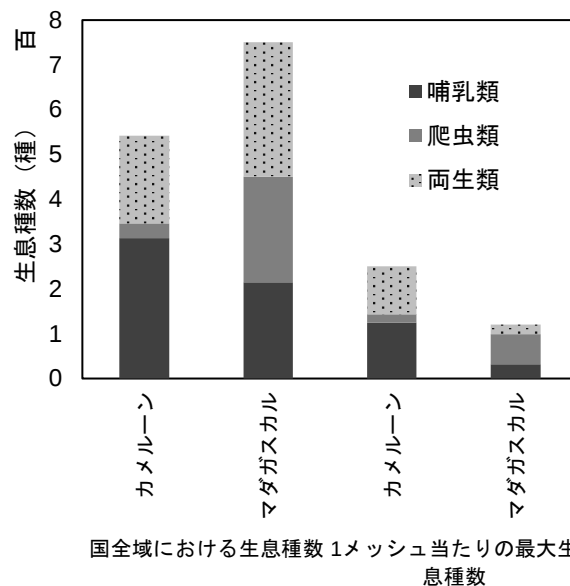


図3 カメルーンとマダガスカルにおける国別の生息種数と1メッシュ当たりの最大生息種数の比較

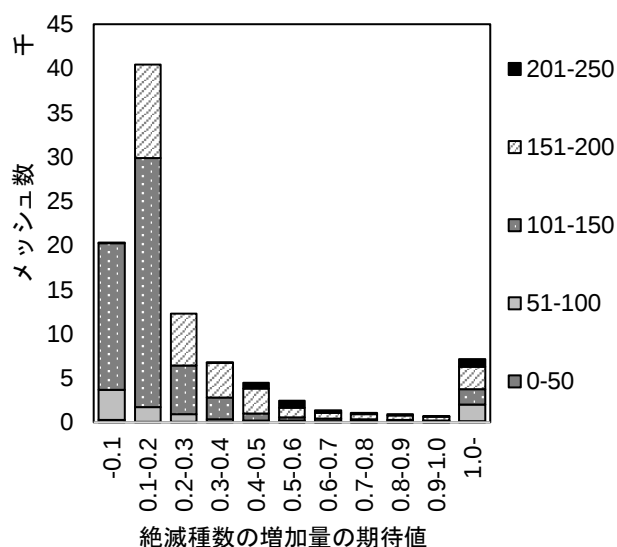


図4 メッシュごとの絶滅種数の増加量の期待値の度数分布

したがって、メッシュの生息種数が少なくても絶滅種数の増加量の期待値が高くなることもある。こうした事例を表1にまとめた。以上のことから、単純に森林地域の生息種数が多いと森林が減少した場合の生物多様性の減少への影響が大きいというわけではなく、生物多様性の影響は生息する種によって大きく異なると言える。

3.5 絶滅種数の増加量の期待値と保護区の関係

本研究での絶滅種数の増加量の期待値の大きい地域、すなわち生物多様性の減少への影響が大きい地域の推計結果と、2009年のアフリカ地域における保護区の状況²⁾を比較してみると、図6において影響が大きい地域であ

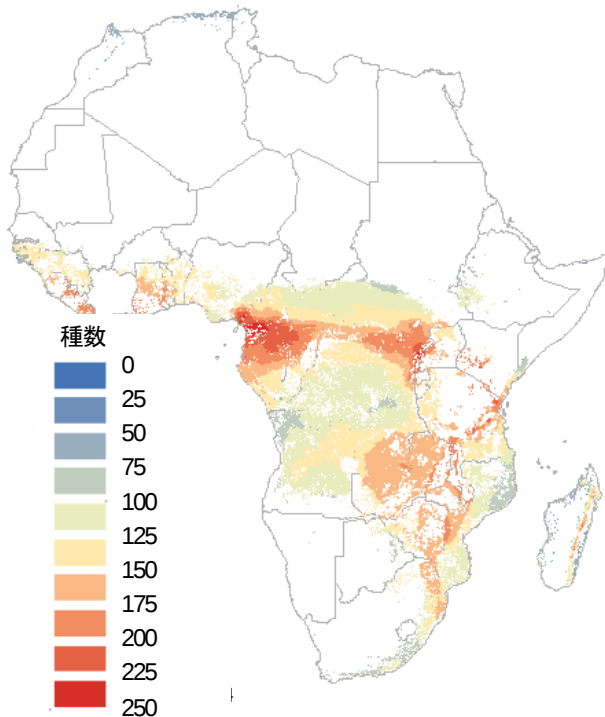


図5 森林地域における生物の生息種数の分布図

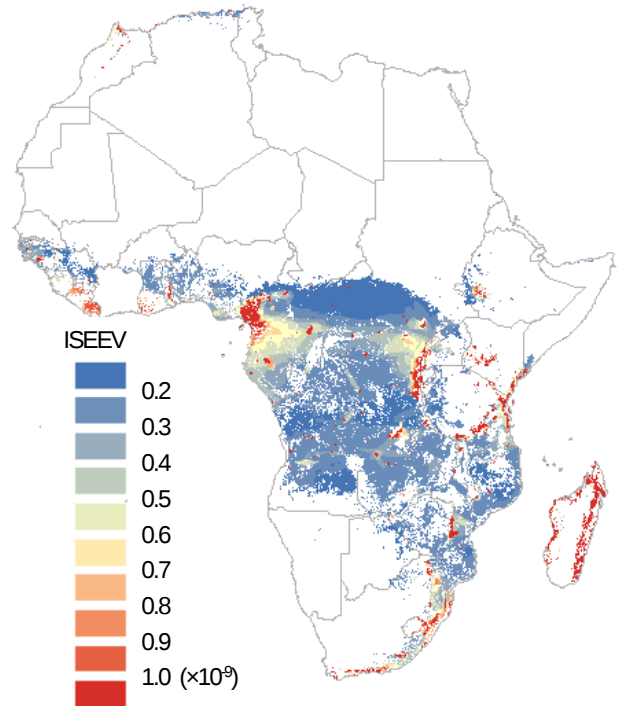


図6 森林地域における絶滅種数の増加量の期待値の分布

ったカメルーン周辺地域の森林保護率は 5~10%または 5%以下であった。中央アフリカ地域の保護率は 30~50%と高い割合で保護されているが、本研究の推計結果では生物多様性の減少に与える影響は他の地域に比べて比較的小さい地域であった。また、影響の大きいメッシュが多く分布しているマダガスカル地域の森林保護率も 5~10%程度であった。したがって、生物多様性の減少に与える影響という観点から見ると、必ずしも相対的に影響の高い地域でより手厚く保護区が指定されているわけではなく、逆に相対的に影響の低い地域が保護区となっている場合がある。生物多様性の保護を目的とすると、生息地域の特性や森林に対する依存度などの生物の生息状況を考慮したうえで影響評価を行い、生物多様性への影響を正しく理解したうえで保護区の設定を検討する必要があると言える。

4. おわりに

本研究では、IUCN のレッドリストデータを用いて哺乳類・爬虫類・両生類の生息分布図と森林分布図を GIS 上で重ね合わせることで、生物の森林生息分布を詳細に考慮したうえで、アフリカの森林開発がもたらす絶滅種数の増加量の期待値を 10km×10km のメッシュごとに算出し、生物多様性の減少への影響を検討した。期待値の分布からリスクマップを作成することにより、

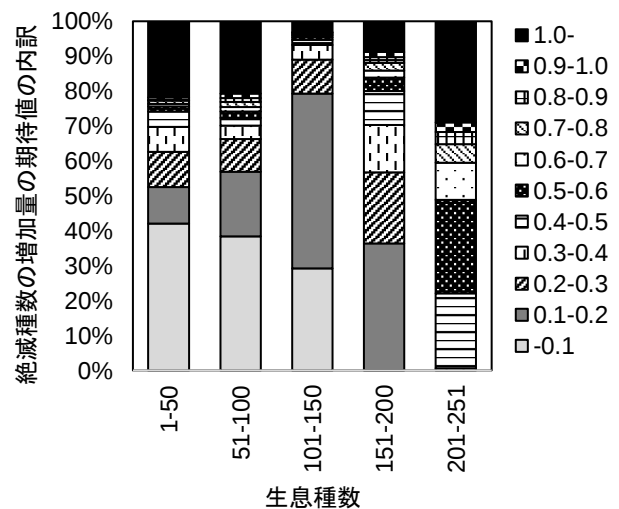


図7 生息種数ごとの絶滅種数の増加量の期待値の内訳

表-1 生息種数と絶滅種数の増加量の期待値

メッシュ番号	面積 (万 ha)	生息種数 (種)	絶滅種数の増加量の期待値 (種/ha)
BG17	1	230	6.2×10^{-10}
BE9	1	230	1.5×10^{-9}
BL21	1	230	3.8×10^{-8}

地域による生物多様性への影響の違いについて検討した。得られた結論は以下の通りである。

- 1) 絶滅危惧種の多く生息しているメッシュの絶滅種数の増加量の期待値は高くなる。しかし、1メッシュ

が減少した際の絶滅確率は生物種の生息地面積の大きさや生息地の森林依存度によって大きく異なるため、生息している種の特性について考慮する必要がある。

- 2) 生物多様性の減少への影響が大きい地域が、必ずしも保護区に含まれているわけではない。生物多様性の保護を行うためには、生物種の生息状況を考慮した影響評価とそれに基づいた保護区の設定が必要である。

なお、絶滅危惧種の多く生息している森林地域としては他に南米と東南アジアがある。本研究では、アフリカ地域における推計結果を示したが、南米、東南アジアさらには世界の全ての森林地域での推計結果を示したワールドマップを作成し、地域ごとの影響の比較を行うことが今後の課題である。加えて、作成したワールドマップを用いることで、ある製品が与える生物多様性への影響評価といったLCAにおける生物多様性の評価方法の検討を行うといったさらなる発展が望まれる。

参考文献

- 1) Baillie, J.E.M. et al.: A Global Species Assessment, 2004 IUCN Red List of Threatened Species™, 2004 (2017. 8. ? 受付)
- 2) Dudley, N.: Guidelines for Applying Protected Area Management Categories, IUCN, Gland, Switzerland, 2008
- 3) Shmitt, C.B. et al.: Global analysis of the protection status of world's forests, *Biological Conservation*, 142, pp.2122-2130, 2009
- 4) Akasaka, M. et al.: Smart protected area placement decelerates biodiversity loss: A representation-extinction feedback leads rare species to extinction, *Conservation Letters*, 00(0), pp.1-8, 2016
- 5) 古川拓哉ら：生物多様性フットプリント～木材消費国が引き起こす海を越えた森林破壊の影響～, 日本生態学会第 60 回全国大会, 2013
- 6) Maclean M.D. and Wilson R.J.: Recent ecological responses to climate change support predictions of high extinction risk, *PNAS*, 108(30), pp.12337-12342, 2011
- 7) IUCN: Red List Spatial Data, <http://www.iucnredlist.org/technical-documents/spatial-date>, 2016 年 10 月アクセス
- 8) FAO: Land Use Systems of the World, GeoNetwork, <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=37139&currTab=simple>, 2016 年 10 月アクセス

LAND-USE CHANGE AND BIODIVERSITY LOSS – ESTIMATION OF THE EXPECTED VALUE OF SPECIES EXTINCTION CAUSED BY FOREST DEVELOPMENT IN AFRICA –

Junpei Ueya, Seiji Hashimoto

For the forest area in Africa, we assessed the impact of forest development (land-use change involving habitat area loss or destruction) on biodiversity loss and, based on the assessment, discussed about appropriate setting of forest protection zone. More specifically, we calculated the expected value of increase in endangered species extinction caused by forest development and compared its distribution and current forest protection zone. The resulting conclusions are as follows. 1) The expected value of increase in species extinction is high for a mesh in which a number of endangered species inhabit. However, the extinction probability when one mesh is decreased is greatly different depending on the size of the habitat area and the forest dependence of the habitat of species. Therefore, it is necessary to consider the characteristics of the species inhabiting. 2) Areas with high impact on biodiversity loss are not necessarily included in the current protection zone. To protect biodiversity, it is necessary to set up an impact assessment considering the habitat of the species and the protection zone based on it