

令和 5 年 5 月 22 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K06437

研究課題名(和文) 大径木択伐から始まる熱帯林の土壤劣化パターンと植生回復の関係

研究課題名(英文) Soil degradation due to selective logging of large diameter trees in a seasonal tropical forest and subsequent vegetation recovery

研究代表者

伊藤 江利子 (Ito, Eriko)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：20353584

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：森林劣化が進行する熱帯季節林における択伐後の植生回復可能性を評価するため、カンボジア中央部の低地常緑林において伐採後10年が経過した択伐跡地の土壤理化学性と植生回復状況を調査した。伐採時の地表攪乱および林床への有機物供給と択伐跡地の土壤理化学性の関係を検討した結果、伐採時の攪乱が小さく林床有機物が継続的に供給された区域では土壤化学性における劣化が抑えられていた。大径木伐採時における前生稚樹の保護が、択伐後の土壤劣化抑止と植生回復可能性の向上に寄与することが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カンボジアの平地常緑林における大径木違法択伐および択伐による林地攪乱の状況を明らかにした。伐倒と現地製材により林床に供給される有機物とその後の土壤劣化の空間的不均一性を見出し、発展途上国の違法伐採における土壤劣化パターンを明らかにした。一時的な林床有機物供給による土壤劣化緩和技術は機能しないことを示し、択伐跡地の植生回復を確実にする林床保護の重要性が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：To clarify the effects of selective cutting and in-situ sawing operations on sustainable forestry, we investigated mineral soil physicochemical characteristics and forest regeneration characteristics in a lowland dry evergreen forest in central Cambodia. Differences in soil physicochemical properties between the control subplots and the logging-affected subplots were particularly pronounced in more disturbed subplots. Continuous supply of litter by standing trees may be essential to mitigate soil degradation due to forest floor cover. The abundance of forest floor vegetation was greater in the subplots where juvenile trees were left alive at the time of logging. These results suggest that the microsites along the unused trunks of selectively logged trees, in addition to open areas where the canopy had fallen, supported reforestation through the prevention of soil fertility loss and conservation of seedlings that had established before logging.

研究分野：森林生態学

キーワード：土壤劣化 植生回復 季節性熱帯林 違法択伐 有機物分解

1. 研究開始当初の背景

熱帯林の持続的利用を図る上で、択伐跡地における確実な植生回復は喫緊の課題である。しかし林床被覆が消失して裸地化した土壌では土壌の理化学性と分解系の双方で著しい劣化が認められ、延いては土壌流亡に至って植生回復は困難となる。違法伐採の場合には、環境や持続性に対する伐採時の配慮が乏しいため影響はより深刻となる。また択伐跡地には普遍的な特徴として、林床攪乱と林床有機物の空間的な偏りが認められる。大径木択伐で生じる林床への有機物供給は立木から林床への有機物の空間的再配分ととらえられる。林床に再配分された有機物の質的量的な違いがその後の択伐跡地の土壌劣化と植生回復の可否を決定づける可能性がある。

2. 研究の目的

熱帯季節林における択伐後の植生回復可能性を評価するため、伐採により生じる立地環境の変化と更新植生との関係を明らかにする。大径木択伐後 10 年が経過した林冠開空地において、土壌劣化指標となる表層土壌の理化学性と有機物分解特性を択伐時の林床有機物供給と対応させて明らかにする。また伐採時の林床攪乱とその後の植生回復の関係を明らかにする。

3. 研究の方法

カンボジア国コンポントム州の森林保護区内に位置する択伐跡地を調査地とする。伐倒方向に調査基準線を設定する。基準線を択伐時の有機物供給の観点から以下の調査区に分割する。樹冠区、未利用幹区、製材区、根株区、閉鎖林冠下の対照区(図1)。各調査区で択伐に起因する有機物の残存様式を調査する。リターバッグ法による落葉分解試験を行い、落葉分解の指標となる重量残存率ならびに全窒素全炭素分析を調査区間で比較する。調査区ごとに土壌調査を行い(図2)採取した土壌試料の定積容積重、全炭素・全窒素含量、酸性度、交換性塩基濃度を分析する。調査地の植生回復状況を調査する。

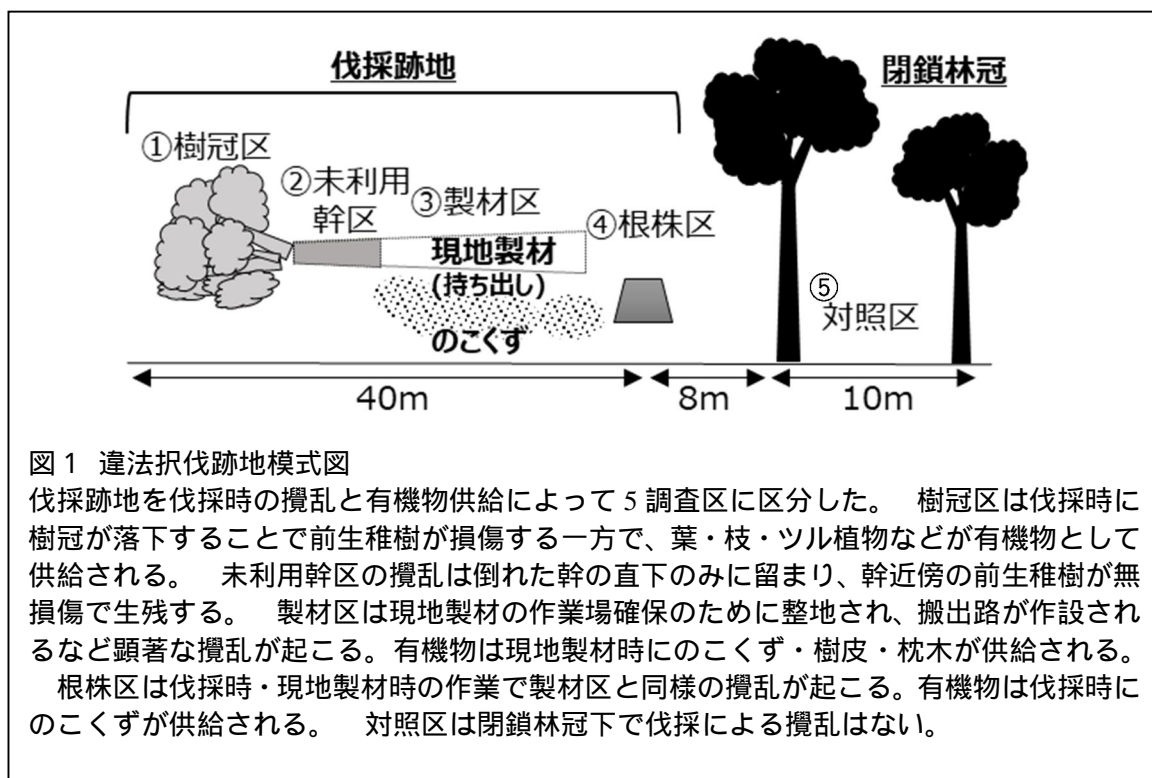


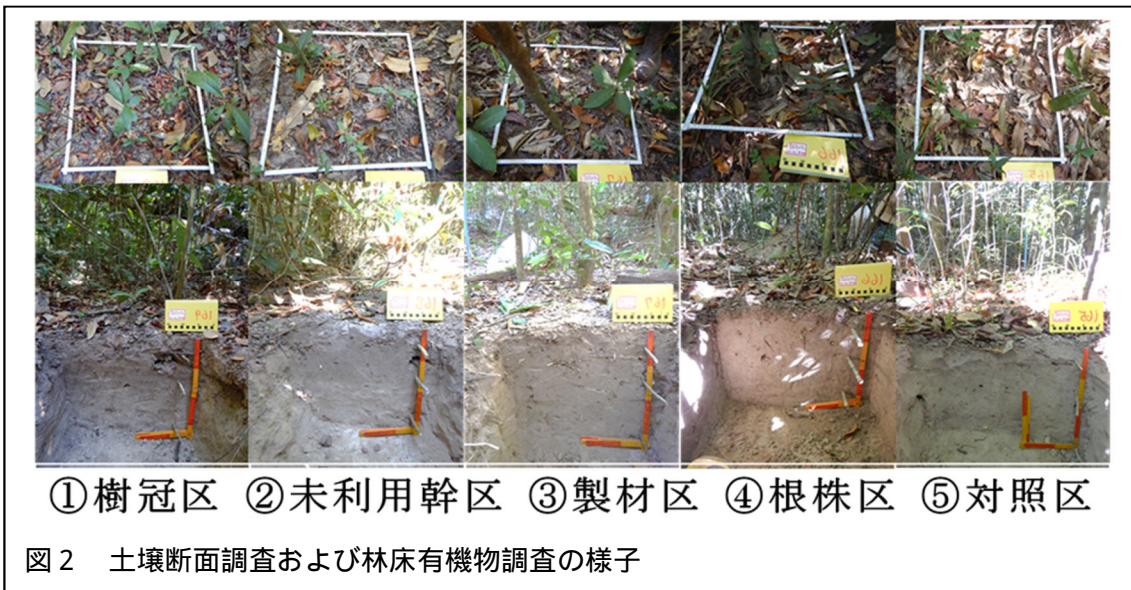
図1 違法択伐跡地模式図

伐採跡地を伐採時の攪乱と有機物供給によって5調査区に区分した。樹冠区は伐採時に樹冠が落下することで前生稚樹が損傷する一方で、葉・枝・ツル植物などが有機物として供給される。未利用幹区の攪乱は倒れた幹の直下のみに留まり、幹近傍の前生稚樹が無損傷で生残する。製材区は現地製材の作業場確保のために整地され、搬出路が作設されるなど顕著な攪乱が起こる。有機物は現地製材時にのこくず・樹皮・枕木が供給される。根株区は伐採時・現地製材時の作業で製材区と同様の攪乱が起こる。有機物は伐採時にのこくずが供給される。対照区は閉鎖林冠下で伐採による攪乱はない。

4. 研究成果

(1) 林床攪乱

伐採から10年が経過したが、樹冠区と根株区の林冠開空度は対照区より有意に大きく、未だ樹冠が閉鎖していなかった。製材区においても林冠開空度の大きいプロットが散見された。林床には大枝(特に樹皮)や製材時に利用した枕木、およびナタで製材した際の数cm角の端材が残存していたが、チェーンソー使用で生じるおがくずは消失していた。未利用幹区では伐採時の攪乱が通直な幹の落下のみと少なかった。未利用幹は腐朽が進みつつも未だ原型を留めていた。樹冠区では伐採時の生残稚樹が良好な光環境下で生育していた。生残木には伐採時の樹冠の落下による損傷痕が認められた。根株区と製材区の林床にはイネ科、カヤツリグサ科、スゲ科の草本が生育していた。また搬出路の作設の痕跡が多く認められた。林床有機物蓄積量(落葉・小枝)



①樹冠区 ②未利用幹区 ③製材区 ④根株区 ⑤対照区

図2 土壌断面調査および林床有機物調査の様子

および最表層土壌 (0-2.5 cm) の細根量に関しては調査区間に有意な差異は認められなかった。択伐後 10 年が経過して林床有機物の面的な供給が回復し、細根も有機物供給に対応して面的に存在していることが明らかになった。

(2) 落葉分解試験

落葉分解試験では落葉のみならずリターバッグの食害も発生した。落葉の重量減少の大部分はシロアリの採食によるものと考えられ、その程度は製材区で有意に大きかった。製材時に供給された大量ののこくずによりシロアリの生息密度が増大し、採食圧が局所的に高まった可能性がある。択伐作業に起因する人為的な林床攪乱が伐採から 10 年経過した時点においても物質循環系に空間異質性をもたらしていることが示唆された。一方、全炭素全窒素濃度で指標される有機物分解程度はすべての調査区で対照区との間に有意差がなく、微生物による有機物分解に空間異質性は認められなかった。

(3) 土壌劣化

土壌物理性の指標である定積容積重は、いずれの土壌層位に関しても調査区ごとの有意な差異は認められず、林床有機物供給の空間異質性は定積容積重に影響を及ぼしていなかった。林床有機物と鉱質土壌の境界はいずれの調査区においても明瞭であり、林床有機物が鉱質土壌に混入して定積容積重を左右しないためであると考えられた。土壌水分含有率は樹冠区と根株区で小さく、林冠開空度の大きさに連関する直達光量を反映していた。

土壌化学性の指標のうち、最表層土壌 (0-5cm) の土壌 pH の低下および土壌 (0-30cm) の養分量 (交換性塩基、特に Ca と Mg) の減少が択伐跡地で認められ、土壌化学性における劣化が明らかになった (図 3)。未利用幹区では対照区との差が比較的小さく、土壌劣化が比較的抑えられていた。これは前生稚樹・下層植生が供給する有機物が継続的に林床を被覆していたためと考えられる。伐倒・製材時に樹冠区では多量の枝葉が、製材区では多量のおがくずが林床に供給されたと考えられるが、これらが土壌劣化を抑制する働きは限定的だった。樹冠区では最表層土壌の窒素濃度が対照区より有意に高く、これは伐採時に供給された生葉など窒素を多く含む有機物の影響と考えられた。土壌有機物の分解無機化に由来する無機態窒素の可給性を判定する指標とされる C/N 比では根株区で対照区より有意に高い値が認められた。未利用幹区土壌化学性における調査区間の違いは表層土壌ほど顕著だったが、交換性カリウムだけは例外的に最表層土壌のみで調査区間の有意差がなかった。カリウムが植物の必須栄養塩であること、および細根が土壌最表層に集中かつ普遍的に存在していたことと併せると、調査林分では有機物が分解されて生じた養分を速やかに回収する養分循環系が成立していると考えられる。

(4) 植生回復

稚樹密度と稚樹サイズを用いた順位スコアで指標した植生回復状況は、樹冠区と未利用幹区では対照区と大差ないが、製材区・根株区では対照区より顕著に疎であった (図 4)。植生回復は伐採時に前生稚樹が損傷し、かつ人為的な地表攪乱が顕著な場所で特に遅れることが明らかになった。樹冠区の前生稚樹は伐採時の樹冠落下で本数密度を下げる一方で、生残した稚樹の成長が良好な光環境下で増大することが示唆された。未利用幹区では植生回復が対照区にやや劣る程度で認められた。伐倒対象種のフタバガキ科 *Dipterocarpus costatus* と *Anisoptera costata* の前生稚樹密度は消失した母樹の生育密度を下回り、択伐前の樹種構成への林分再生は難しいことが示唆された。また伐採対象樹種の個体サイズ別の微地形分布を既往の植生プロットデータを用いて検討したところ、稚樹更新は土壌水分条件が制限

要因となり抑制されていることが示唆された。

(5) まとめ

林床有機物は土壌への交換性塩基の主要な供給源であるが、伐採時に一時的に大量に供給された有機物が土壌劣化を抑制する効果は限定的であることが本研究により示された。択伐跡地の土壌保全には大径木の伐採とその後の現地製材期間も含めた林床有機物の継続的な供給が必要であり、そのためには大径木の伐採時における前生稚樹の保護が極めて有効である。森林劣化が進行する熱帯季節林における択伐後の植生回復可能性を高めるためには、土壌劣化抑制および樹種組成の保全の両観点から前生稚樹の保護が必須である。

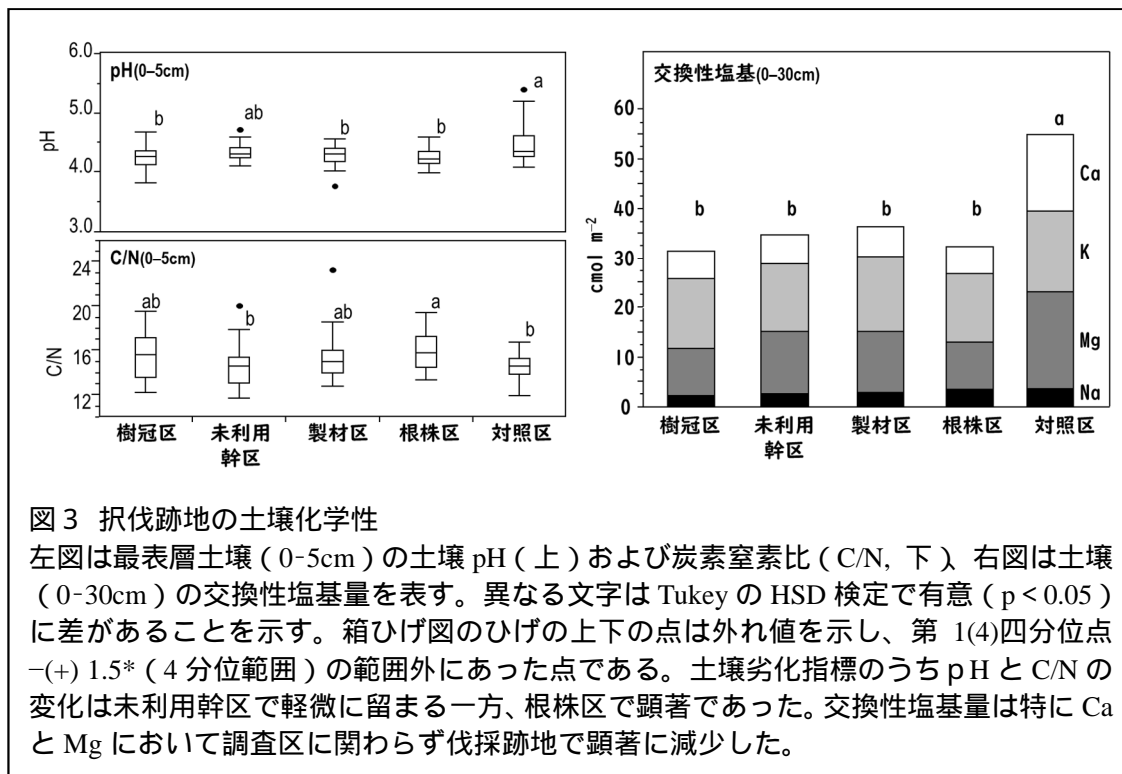


図3 択伐跡地の土壌化学性

左図は最表層土壌（0-5cm）の土壌 pH（上）および炭素窒素比（C/N，下）、右図は土壌（0-30cm）の交換性塩基量を表す。異なる文字は Tukey の HSD 検定で有意（ $p < 0.05$ ）に差があることを示す。箱ひげ図のひげの上下の点は外れ値を示し、第 1(4)四分位点 - (+) 1.5*（4 分位範囲）の範囲外にあった点である。土壌劣化指標のうち pH と C/N の変化は未利用幹区で軽微に留まる一方、根株区で顕著であった。交換性塩基量は特に Ca と Mg において調査区に関わらず伐採跡地で顕著に減少した。

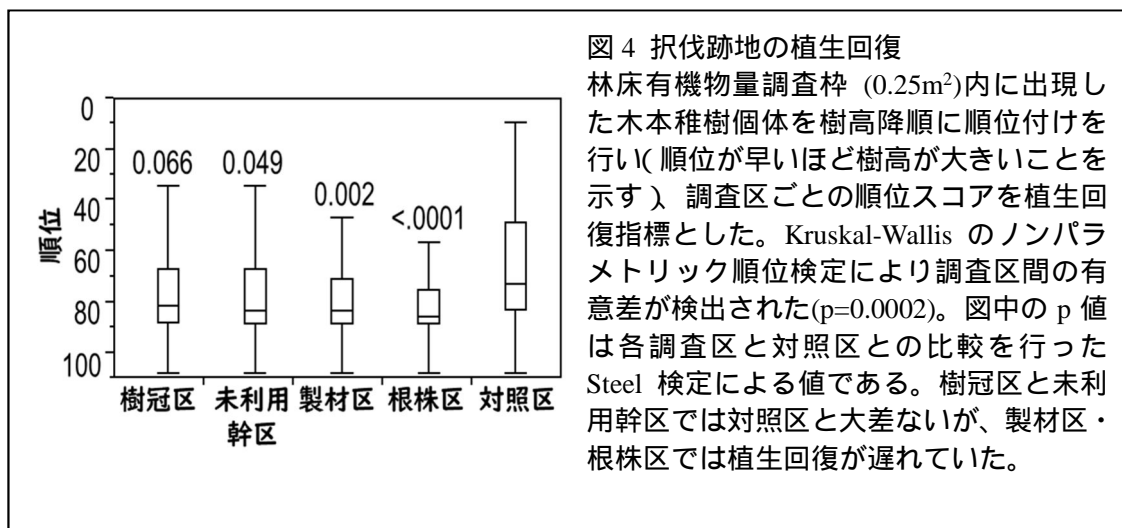


図4 択伐跡地の植生回復

林床有機物量調査枠（0.25m²）内に出現した木本稚樹個体を樹高降順に順位付けを行い（順位が早いほど樹高が大きいことを示す）調査区ごとの順位スコアを植生回復指標とした。Kruskal-Wallis のノンパラメトリック順位検定により調査区間の有意差が検出された（ $p = 0.0002$ ）。図中の p 値は各調査区と対照区との比較を行った Steel 検定による値である。樹冠区と未利用幹区では対照区と大差ないが、製材区・根株区では植生回復が遅れていた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Eriko Ito, Bora Tith	4. 巻 2023
2. 論文標題 Litter loss in Cambodian evergreen forests is mainly caused by soil macrofauna feeding	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cambodian Journal of Natural History	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Eriko ITO, Naoyuki FURUYA, Yasuhiro OHNUKI, Mitsue SHIBATA, Mamoru KANZAKI, Yukako MONDA, Yoshimi SAKAI, Jumpei TORIYAMA, Takanobu YAGI, Bora TITH, Samkol KETH, Borin TO, Nang KETH, Chandarararity LY, Phallaphearaoth OP, Sophal CHANN, Yoshiyuki KIYONO	4. 巻 2023
2. 論文標題 Spatially heterogeneous natural regeneration of tall evergreen dipterocarps, a target of selective logging	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cambodian Journal of Natural History	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Eriko ITO, Naoyuki FURUYA, Yasuhiro OHNUKI, Bora TITH, Samkol KETH	4. 巻 2023
2. 論文標題 Selective cutting of large-diameter trees in a lowland evergreen forest in central Cambodia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cambodian Journal of Natural History	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大径木択伐から始まる熱帯林の土壌劣化パターンと植生回復の関係
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/en/ipo/collaborativeresearch/sdegradationrecovery/index.html>
 大径木択伐から始まる熱帯林の土壌劣化パターンと植生回復の関係
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/ipo/jointresearch/rekakaifuku/index.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
カンボジア	カンボジア王国森林局		