

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（A）海外

研究期間：2006～2009

課題番号：18255011

研究課題名（和文）東南アジア熱帯林の栄養塩および炭素固定能の評価と保全

研究課題名（英文）Evaluation of nutrient and carbon use in tropical dry forests in Southeast Asia

研究代表者

石田 厚（ISHIDA ATSUSHI）

独立行政法人森林総合研究所・植物生態研究領域・室長

研究者番号：60343787

研究成果の概要（和文）：東南アジアの明確な乾季のある低地熱帯季節林では、似た降水量や降雨の季節パターンを持つにも関わらず、落葉樹林も常緑樹林も見られた。タイでの落葉樹林や常緑樹林の成因は、土壌の水分保持力や pH、栄養塩濃度によっていた。それぞれの森林タイプによって、葉の生理機能、森林の炭素獲得能や貯蔵量、生態系の栄養塩サイクル特性は異なっていた。将来の温暖化等による降雨量の変化や人の土地利用の変化は、森林のタイプを変え、森林機能に重大な変化が生じさせるおそれが高いことが示唆された。

研究成果の概要（英文）：In Southeast Asia, dry-deciduous and evergreen forests are found within areas with a similar annual precipitation and seasonal patterns. The forest types were dependent on soil properties, such as pH, water content and nutrient content. These forest types had different forest functions in physiology at the single level, carbon gain and stock at the forest level, nutrient cycle at the ecosystem level. According to the results, we proposed that the global climate change and the change of land use will strongly affects forest types and functions in tropical dry forests.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	12,400,000	3,720,000	16,120,000
2007 年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2008 年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2009 年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
年度			
総計	31,900,000	9,570,000	41,470,000

研究分野：林学

科研費の分科・細目：林学

キーワード：熱帯季節林、乾季、栄養塩サイクル、光合成、木部キャビテーション、フェノロジー、土壌栄養塩、炭素フラックス

1. 研究開始当初の背景

熱帯林は、世界の森林の約43%を占め、森林による二酸化炭素吸収において重要な地域であると考えられる。モンスーン熱帯アジアにあたるタイでは、毎年11月から2月3月にかけてほとんど降雨が無くなるが、乾季落葉樹林も常緑樹林も見られる。タイの落葉樹林と常緑樹林では、ほとんど同じような年間降雨量や降雨の季節パターンを持っている。従って「雨量が少なくなると落葉樹が増える」という一般論では、タイ国内での落葉樹林や常緑樹林の成因は説明がつかない。このことから厳しい乾季を乗り越えるために、常緑で耐えるか、もしくは落葉し蒸散面を減らして落葉によって逃れるかという選択は、土壌の状態に起因していると考えられた。このことは、将来の温暖化等による降雨量や季節パターンの変化、また人による土地利用の変化は、森林タイプやその機能に重大な影響をもたらすことが予測された。

2. 研究の目的

今までの研究から得られた仮説：「常緑樹林では、土壌栄養塩レベルが低く、樹木はより保存的 (conservative) な資源利用特性を示し、生態系はより閉鎖的 (closed) な栄養塩サイクルを持つ。すなわち土壌タイプが落葉樹林と常緑樹林という異なった林分を成立させ、異なった機能を持つ森林生態系を形成する」を検証することを目的とした。すなわち土壌栄養塩レベルが低いと、貧栄養に有利な樹種 (常緑樹) のみが優占する純林が形成されやすい。また森林火災が栄養塩サイクルに変化をもたらすと、土壌栄養塩や構成樹種に影響を及ぼし、さらに森林の二酸化炭素吸収能にも変化をもたらすであろう。従って将来の地球温暖化による、東南アジアの森林タイプや二酸化炭素吸収能の変化を予測するために、気象 (特に降雨)、土壌栄養塩と生態系の栄養塩サイクル、樹木種 (常緑/落葉) の栄養塩利用と光合成機能、森林火災、といった生態・生理・立地学的な各要素の相互作用を明らかにしていくことが重要であり、これを研究到達目標とした。

3. 研究の方法

主にタイの落葉樹林と常緑樹林を研究サイトに選び、樹木生理プロセス、森林動態プロセス、土壌プロセスの研究の3分野から行った。

(1) 樹木生理プロセス：樹木の個葉レベルでの光合成や蒸散機能、光阻害耐性の樹種特性と季節変化特性を調べる。また各樹種で、葉や枝の通水性や木部水切れ (キャビテーション) の季節変化特性を調べる。また林冠タワーを利用して、炭素フラックスの測定や、定点カメラを用いて葉のフェノロジーを毎

日測定した。

(2) 森林動態プロセス：長期観測プロットを用いて、各樹種の成長量や枯死パターンを毎年測定した。またリタートラップを設置して、枯死脱落量を測定した。それによって、森林の炭素蓄積量の変化を測定した。また落葉樹林では、竹の一斉枯死後の実生の成長特性を調べ、樹木稚樹との競争と森林の更新特性を調べた。

(3) 土壌プロセス：各森林の土壌の物性や栄養塩特性を調べるとともに、土壌呼吸の季節変化特性を調べた。

4. 研究成果

東南アジアの明確な乾季のある低地熱帯季節林では、似た降水量や降雨の季節パターンを持つにも関わらず、落葉樹林も常緑樹林も見られる。落葉樹林は、Dry dipterocarp forest (DDF) と Mixed deciduous forest (MDF) の二つのタイプがあり、また常緑樹林は Dry evergreen forest (DEF) と呼ばれる林である。

落葉樹林の DDF はフタバガキ科の樹木が優占する背丈の低い林 (約12m) で、樹木密度も、単位地面面積当たりの材積も低かった。もう一方の MDF ではフタバガキ科は数少なく、DDF と比べ、背丈もより高く (約20m)、樹木密度も材積もより高かった。DDF は砂質で岩盤が露出し、浅い土壌の場所に見られ、乾季での土壌乾燥が進んだ。この土壌の水分貯蔵能力の低さが、この DDF 落葉樹林の成因であると考えられた (文献⑦)。一方 MDF 落葉樹林は、タイ西北部に多く広がる石灰岩質の分布とよく一致した。この石灰岩質土壌では、より中性の pH を示し、リン濃度が高かった (文献③)。このことから、富栄養な土壌栄養塩が MDF の成因の重要な一要因であると考えられた。すなわち、土壌栄養塩濃度が高いことは、乾季に葉を落としより浪費的な資源利用特性を持つ樹種を有利にしていると考えられた (文献⑭)。逆に常緑樹林 (DEF) の土壌栄養塩は、土壌深は深かったが、砂質でより酸性の pH を示し、リン濃度が低かった (文献⑦)。このことから、砂質で貧栄養な土壌が DEF の成因の重要な一要因であると考えられた。

また落葉樹も常緑樹でも雨季の始まる前、すなわち乾季の最も乾燥の厳しい時期 (2月) に新葉の展開が見られた (文献①)。また落葉樹では、葉の枯死の時期、新葉の展開時期、落葉期間に大きな樹種間差が見られた。このことから、リモートセンシング法では乾季でも NDVI (植生指数) の低下が乏しく、落葉樹が常緑樹林と誤認されやすいことがわかった。

温帯の冬季落葉樹では、冬に木部道管の水切れ (キャビテーション) が進むことが報告

されている。しかしタイでは、常緑樹でも落葉樹でも、乾季に木部キャピテーションの進行は見られず、また乾季に葉や枝の通水性の低下も見られなかった。このことが、乾燥の最も厳しい時期に新葉を展開させることを可能にしていると考えられる。落葉樹は常緑樹よりも気孔コンダクタンス（開度）が高かったが、葉や枝の通水性や葉の浸透ポテンシャルといった気孔コンダクタンス以外の水利用特性は、常緑樹と落葉樹の間に差がある訳ではなく、樹種に依存していた（文献①）。

乾季は、気孔開度が低下するため、強い光によって葉の生理機能の低下もたらす危険性が增大する。この強い光による葉の障害は光阻害と呼ばれる。しかし常緑樹においても落葉樹においても、乾季に厳しい光阻害を受けることは無かった。この光阻害を回避する葉内の生理メカニズムは、常緑樹と落葉樹の間で分かれていた（文献⑭）。すなわち常緑樹の葉内では、乾季にキサントフィルサイクル色素/クロロフィル色素比が増大し、過度の光エネルギーを熱として放散していた。一方落葉樹の葉では、乾季に光呼吸が増大し、過度の電子を消費していることがわかった。常緑樹の葉は、葉が厚く作るコストが高く、そのかわり葉の寿命が長くなっている。このことは、常緑樹の葉は光阻害回避のためにキサントフィルサイクルといった高いコストを払って、長い葉寿命の葉を維持していると考えられる。

これらの結果は、東南アジアの明確な乾季を持つ熱帯林では、土壌の栄養塩や水分といった特性が、落葉樹や常緑樹といった植生タイプの成因と密接な関係があることを示す。落葉樹は、乾季に葉を落とすために栄養塩サイクルの循環が早い。一方常緑樹は葉が長く維持されるため、栄養塩が樹体内にとどまる期間が長く、栄養塩サイクルの循環が遅い。つまり落葉樹より保存的に資源を利用していると考えられた。これらのことから、将来の温暖化や人為によって降雨量や土壌栄養が変化すると、森林のタイプを変え、炭素固定能や生態系の栄養塩サイクルといった森林機能に重大な変化が生じるおそれが高いことが示唆された。今後、温暖化に対する陸域生態系の変化予測や保全管理技術を発展させていくためにも、土壌特性と森林タイプとその機能との相互関係を基に、熱帯季節林の成因や種の多様性の維持機構、森林機能の解明をしていく必要があることがわかった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計17件）

- ① Ishida A., Harayama H., Yazaki k., 他10名、Seasonal variations in hydraulic properties of deciduous and evergreen in Monsoonal dry forests of Thailand、Tree Physiology、査読有、2010年（In press）
- ② Yazaki K., Sano Y., Fujikawa S., 他2名、Responses to dehydration and irrigation in invasive and native saplings: osmotic adjustment versus leaf shedding、Tree Physiology、査読有、2010年（In press）
- ③ Dokrak M., Pinyo P., Duengkae P., Tanaka H.、The role of wild banana (*Musa acuminata* Colla) on wildlife diversity in mixed deciduous forest, Kanchanaburi province, western Thailand、Kasetsart Journal (Natural Sciences)、査読有、2010年、44巻、pp. 35-43
- ④ 田中浩, ドクラク マロード, 石田厚, 他3名、同所的に存在する熱帯性タケ類の一斉開花死後の更新 - タケに稚樹バンクが存在する?、日本生態学会誌、査読有、2010年、60巻、pp. 63-72
- ⑤ Mori S., Yamaji K., Ishida A., 他21名、Mixed-power scaling of whole-plant respiration from seedlings to giant trees、Proceedings of the National Academy of Sciences、査読有、2010年、107巻、pp. 1447-1451
- ⑥ Takahashi M., Hirai K., Limtong P., 他5名、Soil respiration in different age of teak plantations in Thailand、Japan Agricultural Research Quarterly (JARC)、査読有、2009年、43巻、pp. 337-343
- ⑦ Adachi M., Ishida A., Sarayudh B., 他2名、Spatial and temporal variation in soil respiration in a seasonally dry tropical forest, Thailand、Journal of Tropical Ecology、査読有、2009年、25巻、pp. 531-539
- ⑧ Murata N., Ohta S., Ishida A., 他4名、Comparison of soil depths between evergreen and deciduous forests as a determinant of their distribution, Northeast Thailand、Journal of Forest Research、査読有、2009年、14巻、pp. 212-220
- ⑨ Koretsune S., Fukuda K., Zhaoyang C., Fuchen S., Ishida A.、Stomatal response to drought and rainfall at the early and late wood formation in *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia* in China、Journal of Forest Research、査読有、2009年、14巻、pp. 88-94

- ⑩原山尚徳, 上村章, 石田厚, 減圧チャンパー法を用いた葉の通水コンダクタンスの測定、日本生態学会誌、査読有、2009年、59巻、pp. 29-38
- ⑪ Osone Y., Ishida A., Tateno M.、Correlation between relative growth rate and specific leaf area requires associations of specific leaf area with nitrogen absorption rate of roots、New Phytologist、査読有、2008年、179巻、pp. 417-427
- ⑫ Ishida A., Nakano T., Yazaki K., 他5名、Coordination between leaf and stem traits related to leaf carbon gain and hydraulics across 32 drought-tolerant angiosperms、Oecologia、査読有、2008年、156巻、pp. 193-202
- ⑬ Takahashi M., Furusawa H., Limtong P., 他3名、Soil nutrient status after bamboo flowering and death in a seasonal tropical forest in western Thailand、Ecological Research、査読有、2007年、22巻、pp. 160-164
- ⑭ Harayama H., Ikeda T., Ishida A., 他1名、Seasonal variations in water relations in current-year leaves of evergreen trees with delayed greening、Tree Physiology、査読有、2006年、26巻、pp. 1025-1033
- ⑮ Ishida A., Diloksumpun S., Ladpala P., 他6名、Contrasting seasonal leaf habits of canopy trees between tropical dry-deciduous and evergreen forests in Thailand、Tree Physiology、査読有、2006年、26巻、pp. 643-656
- ⑯ Uemura A., Harayama H., Koike N., 他1名、Coordination of crown structure, leaf plasticity and carbon gain within the crowns of three winter-deciduous mature trees、Tree Physiology、査読有、2006年、26巻、pp. 633-641
- ⑰ Shimizu M., Ishida A., Tange T., 他1名、Leaf turnover and growth responses of shade-grown saplings of four *Shorea* rain forest species to a sudden increase in light、Tree Physiology、査読有、2006年、26巻、pp. 449-457

[学会発表] (計32件)

- ① Ishida A., 他11名、Contrasting photoprotective ability and water use of dry-deciduous and evergreen trees in tropical forests with a distinct dry season in Thailand、2008年11月17-20日、The Fortrop II International Conference、バンコク
- ② Tanaka H., 他11名、Regeneration

dynamics of a tropical seasonal forest after the simultaneous death of co-occurring bamboos、2008年11月17-20日、The Fortrop II International Conference、バンコク

- ③ Sakai A., Tanouchi H., Takahashi M., 他3名、Application of century model to carbon stocks accounting in the forest sector、2008年11月17-20日、The Fortrop II International Conference (バンコク)
- ④ Maeda T., 他6名、Leaf phenology detected by fixed view camera images in a tropical seasonal forest at Mae Klong, Thailand、2008年11月17-20日、The Fortrop II International Conference、バンコク
- ⑤ Murata N., Ohta S., 他6名、Comparison of soil depths between evergreen and deciduous forests as a determinant of their distribution in Northeast Thailand、2008年11月17-20日、The Fortrop II International Conference (バンコク)
- ⑥ Tominaga K., Ohta S., 他5名、Comparison of soil nutrient status between dry evergreen and deciduous forests in Northeast Thailand、2008年11月17-20日、The Fortrop II International Conference (バンコク)
- ⑦ Kanzaki M., 他6名、Comparison of soil depths between evergreen and deciduous forests as a determinant of their distribution in Northeast Thailand、2008年11月17-20日、The Fortrop II International Conference、バンコク

[図書] (計1件)

- ① 石田厚、蒸散と水輸送、森林総合研究所編 森林大百科辞典(朝倉書店) pp 33-35、2009年
- ② 田中浩、落葉広葉樹林帯、森林総合研究所編 森林大百科辞典(朝倉書店) pp 9-11、2009年
- ③ 田中浩、森林の長期生態観測、森林総合研究所編 森林大百科辞典(朝倉書店) pp 59-61、2009年

[産業財産権]

○取得状況 (計1件)

名称：画像の数値解析方法およびシステム並びにプログラム

発明者：前田高尚、蒲生稔

権利者：独立行政法人 産業技術総合研究所

種類：特許

番号：特許第2480823号

取得年月日：平成 21 年 3 月 27 日
国内外の別：国内

研究者番号：40450275

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石田 厚 (ISHIDA ATSUSHI)
独立行政法人森林総合研究所・植物生態研究領域・室長
研究者番号：60343787

(2) 研究分担者

田中 浩 (TANAKA HIROSHI)
独立行政法人森林総合研究所・九州支所・チーム長
研究者番号：80343789
(H20→H21：連携研究者)
高橋 正通 (TAKAHASHI MASAMICHI)
独立行政法人森林総合研究所・企画科・科長
研究者番号：40353750
(H20→H21：連携研究者)
太田 誠一 (OHTA SEICHI)
京都大学・農学部・教授
研究者番号：10346033
(H20→H21：連携研究者)
神崎 護 (KANZAKI MAMORU)
京都大学・農学部・准教授
研究者番号：70183291
(H20→H21：連携研究者)

(3) 連携研究者

矢崎 健一 (YAZAKI KENICHI)
独立行政法人森林総合研究所・植物生態研究領域・主任研究員
研究者番号：30353890
原山 尚徳 (HARAYAMA HISANORI)
独立行政法人森林総合研究所・植物生態研究領域・主任研究員
研究者番号：60353819
齋藤 智之 (SAITOH TOMOYUKI)
独立行政法人森林総合研究所・木曽試験地・主任研究員
研究者番号：00414483
浅野 透 (中静 透) (ASANO TORU) (NAKASHI IZUKA TORU)
東北大学・生命科学研究科・教授
研究者番号：00281105
前田 高尚 (MAEDA TAKAHISA)
独立行政法人産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・研究員
研究者番号：10357981
安立 美奈子 (ADACHI MINACO)
独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター・NIES ポスドクフェロー