

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23780161

研究課題名(和文) 質的・量的フェノロジーが東南アジア熱帯季節林の水・炭素交換に及ぼす影響の解明

研究課題名(英文) Investigation of the effect of qualitative and quantitative leaf phenology on water and carbon exchanges of a tropical seasonal forest in Southeast Asia

研究代表者

吉藤 奈津子 (Yoshifuji, Natsuko)

京都大学・(連合)農学研究科(研究院)・研究員

研究者番号：80514223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：雨期乾季の明瞭な東南アジアの落葉性熱帯季節林において、森林-大気間の水・炭素交換量の季節変化の形成要因を長期現地観測に基づき調べた。土壌水分増加が展葉・蒸散開始の主要なトリガーであること、乾期初めには落葉や葉の光合成能力の明瞭な低下(量的・質的フェノロジー)はまだ見られないが、土壌水分低下による気孔閉鎖(生理的環境応答)が初期の蒸散量低下・純生態系交換量増加を促していたことから、降雨変動に伴う土壌水分変化が展葉や気孔開度を介して水・炭素交換量の季節変化の形成に重要な影響を及ぼしていることが分かった。

研究成果の概要(英文)：We investigated the factors controlling the seasonal variation in water and carbon exchanges between forest canopy and atmosphere at a deciduous tropical seasonal forest having clear rainy and dry seasons in Southeast Asia based on long-term in-situ observations. Soil moisture increase worked as a dominant factor of leaf-out and transpiration onset. Leaf-fall and the clear decline in leaf photosynthetic capacity (quantitative and qualitative leaf phenology, respectively) were not observed in the beginning of dry season, while the stomatal closure due to soil drought (physiological response to environmental condition) induced the beginning of transpiration decline and the increase in net ecosystem exchange. These indicate that soil moisture change caused by the rainfall seasonality plays an important role on seasonal variations in water and carbon exchanges through leaf-out and stomatal control.

研究分野：森林水文学

キーワード：熱帯季節林 ガス交換 蒸散 季節変化 フェノロジー 生理的環境応答

### 1. 研究開始当初の背景

大気・熱帯林の水・炭素交換の定量化と内部動態の解明は、気候変動や地球規模の炭素循環の解明・将来予測にとって不可欠である。熱帯林総面積のうち雨期乾期のある季節林が占める割合は約4割にもものぼる。熱帯季節林は熱帯雨林と異なり、雨期乾期に伴って気象条件が大きく季節変化する。特に長く厳しい乾季のあるインドシナ半島では、最近10年ほどの間に複数のタワーサイトが設けられ、降雨の季節変動に伴って生じる炭素・水循環の各フローの季節変化や、その収支としての林冠・大気間の炭素・水交換の定量的評価が進められてきた。

一方で、群落スケールでの炭素・水循環の季節変化は、森林生態系内部での様々な生理生態的・物理的プロセスの総合結果として生じているはずである。熱帯地域では現在および将来における降雨変動が指摘されているが、その水・炭素交換に及ぼす影響を解明・予測するには、こうした内部プロセスの挙動や降雨変動に対する応答を明らかにすることが重要である。

水・炭素交換の重要な構成要素である蒸散と光合成は、いずれも葉の気孔を介して起こる現象であり、その変動には、気象条件の変化による直接的な影響に加えて、展葉・落葉に伴う葉量変化(量的フェノロジー)、個葉の光合成能力・蒸散特性の季節変化(質的フェノロジー)、気孔開度のコントロール等の樹木の生理的環境応答が、影響を与えると考えられる。しかし、この3つを同時に計測し長期的な変動を示した研究例は、熱帯季節林に限らず意外にも少なく、その実態は未だ十分明らかにされていない。

### 2. 研究の目的

本研究は、雨期乾期の明瞭な東南アジアの熱帯季節林において、水・炭素交換量の季節変化の形成に対する葉量(量的フェノロジー)、個葉の光合成能力(質的フェノロジー)、気孔開度(生理的環境応答)の影響を明らかにすることを目的とした。落葉性常緑熱帯季節林を主たる調査対象とし、常緑熱帯季節林と比較してその特徴を明確にする。

### 3. 研究の方法

主たる調査地は、タイ北部ランパン県に位置する MaeMo チークプランテーション(18°25' N, 99°43' E)である。1968年植栽のチーク(*Tectona grandis*)の人工一斉林で、乾期に落葉する。MaeMo で、以下の現地観測、解析を行った。

(1) 林内の微気象観測タワーを用いて、乱流変動法により樹冠上の潜熱および炭素フラックス計測を行った。過去の計測結果に基づき樹冠上二酸化炭素濃度から林内二酸化炭素貯留フラックスを推定し、NEE を算出した。また、ヒートパルス法によるチークの樹

液流計測を過去10年間にわたって行っており、ヒートパルス速度(HPV)をチークの蒸散の指標として解析に用いた。

(2) 「量的フェノロジー」として、樹冠上下の放射量の連続観測と定期的なリター量測定により、葉面積指数(LAI)の連続計測を行った。

(3) 「質的フェノロジー」として、光合成に関わる個葉の形態生理学特性を測定した。具体的には、年3回の集中観測による最大光合成電子伝達速度( $J_{max}$ )の計測と、葉を定期サンプリングし葉面積当たりの乾燥重量(LMA)及び窒素含量( $N_{area}$ )の測定を行った。

(4) 「生理的環境応答」として、潜熱から群落コンダクタンス( $G_c$ )を算出した。

(5) (1)~(4)のデータを用いて、蒸散とNEEの季節変化の形成に及ぼす量的・質的フェノロジーと生理的環境応答の影響について、特に雨季初めの蒸散開始と乾期初めの蒸散・NEEの初期低下に着目し、その主たる制御要因は何かを解析した。

また、丘陵性常緑熱帯季節林であるタイ北部チェンマイ県の KogMa 試験地(18°48' N, 98°54' E)でも葉の定期サンプリングによる LMA と  $N_{area}$  の測定を行った。蒸散の季節変動特性とその制御要因について、落葉林である MaeMo との差異を考察した。

### 4. 研究成果

(1) MaeMo における潜熱、NEE、HPV と LAI の季節変化の関係について、以下のことが分かった。

展葉に伴う LAI の増加と対応して潜熱もチークの蒸散も増加し、NEE は低下した。潜熱は展葉開始より前に増加がみられたが、これは雨季初めの降雨によって林床面蒸発や林床植生の蒸散が生じたためと考えられる。

乾期初めに、落葉による LAI 低下よりも早く、潜熱と HPV は低下し始め NEE は増加し始めた。

(2) MaeMo における10年間の HPV データと12年間の LAI データからそれぞれ蒸散開始日と展葉開始日を決定し、その年々変動と土壌水分変化との関係について以下のことをあきらかにした。

チークは毎年展葉開始とほぼ同時に蒸散を開始するが、そのタイミングは大きく年々変動した(12年間で最大約40日)。

展葉・蒸散開始日の年々変動は、地表面下60cmの土層の相対体積含水率( $\theta$ ) > 0.2となる日で表すことができたが、

> 0.2となる日が早い年ほど展葉・蒸散開始日までのタイムラグが長かった。

以上のことから、展葉・蒸散開始を促す主たるトリガーは土壌水分増加であるが、加えて植物の内的要因あるいは他の気象要因も影響していると考えられること、また、降雨の年々変動に伴う土壌水分増加時期の違いが、展葉・蒸散開始日を大きく年々変動させる要因となっていること、が分かった。

(3) MaeMo における潜熱、NEE の時系列変化を  $J_{max}$ 、LMA、 $N_{area}$ 、 $G_c$ 、LAI と比較し、潜熱、NEE の初期の低下を促す要因について考察した。乾期初めに潜熱は低下、NEE は増加し始めるが、このとき LAI はまだ低下しておらず、 $J_{max}$ 、LMA、 $N_{area}$  にもまだ明瞭な低下は見られなかった。一方、土壌水分低下によって  $G_c$  が低下していた。以上のことから、乾期初めには LAI や葉の光合成能力にまだ明瞭な低下は見られないが、土壌水分低下に伴う気孔閉鎖によってチークの蒸散・光合成が低下したため、潜熱低下・NEE 増加を促したと考えられる。

以上の結果から、MaeMo では、降雨に伴う土壌水分変化が LAI (量的フェノロジー) や気孔開度(生理的環境応答)を介して、水・炭素交換の季節変化の形成とその年々変動に重要な影響を及ぼしていることが分かった。

一方、常緑林である KogMa は LAI の季節変化が小さく、乾期後半には土壌水分低下に伴う蒸散抑制は見られるものの、雨季に比べて飽差が大きいため乾期後半に樹木の蒸散や潜熱が大きい。常緑熱帯季節林である MaeMo の水・炭素交換の季節変化パターンとその形成要因は、丘陵性常緑林熱帯季節林である KogMa と大きく異なることが明らかになった。

## 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3件)

Yasunori Igarashi, Tomo'omi Kumagai, Natsuko Yoshifuji, Takanori Sato, Nobuaki Tanaka, Katsunori Tanaka, Masakazu Suzuki, Chatchai Tantasirin, 2015, Environmental control of canopy stomatal conductance in a tropical deciduous forest in northern Thailand, Agricultural and Forest Meteorology, 202, 1-10, 査読有  
DOI: 10.1016/j.agrformet.2014.11.013

Natsuko Yoshifuji, Yasunori Igarashi, Nobuaki Tanaka, Katsunori Tanaka, Takanori Sato, Chatchai Tantasirin,

Masakazu Suzuki, 2014, Inter-annual variation in the response of leaf-out onset to soil moisture increase in a teak plantation in northern Thailand, International Journal of Biometeorology, 58(9), 2025-2029, 査読有  
DOI: 10.1007/s00484-013-0784-2

Yasunori Igarashi, Nozuaki Tanaka, Katsunori Tanaka, Natsuko Yoshifuji, Takanori Sato, Chatchai Tantasirin, Masakazu Suzuki, 2013, Seasonality of water and carbon dioxide exchange at a teak plantation in northern Thailand, Ecohydrology, 6(1), 125-133, 査読有  
DOI:10.1002/eco.284

〔学会発表〕(計7件)

吉藤奈津子、五十嵐康記、鎌倉真依、松尾奈緒子、佐藤貴紀、田中延亮、田中克典、タンタシリン チャチャイ、鈴木雅一、タイ北部熱帯季節林の乾季初期におけるガス交換低下を引き起こす要因は何か?、2015年3月28日、第126回日本森林学会大会、北海道大学農学部(北海道札幌市)

Igarashi Y., Katul G., Kumagai T., Yoshifuji N., Sato T., Tanaka N., Tanaka K., Fujinami H., Tantasirin C., Suzuki M., Separating physical and biological controls on evapotranspiration fluctuations in a teak plantation subjected to monsoonal rainfall, 2014年12月19日、AGU Fall Meeting、サンフランシスコ(米国)

馬場亮輔、鎌倉真依、吉藤奈津子、田中克典、松尾奈緒子、五十嵐康記、佐藤貴紀、田中延亮、小杉緑子、チャチャイ タンタシリン、鈴木雅一、幹の水ポテンシャル測定に基づいた熱帯モンスーン地域におけるチークの水利用特性の季節変化、2014年3月16日、第61回日本生態学会大会、広島国際会議場(広島県広島市)

吉藤奈津子、佐藤貴紀、五十嵐康記、田中延亮、田中克典、鈴木雅一、Tantasirin Chatchai、タイ北部落葉性チーク人工林の蒸散・展葉開始日の年々変動 土壌水分増加とのタイムラグ、2013年3月26日、第124回日本森林学会大会、岩手大学農学部(岩手県盛岡市)

吉藤奈津子、Interannual variation in transpiration onset and its predictive indicator for a tropical deciduous forest in northern Thailand based on 8-year sap-flow records (タイ北部の

熱帯落葉林における 8 年間の樹液流計測に基づく蒸散開始時期の年々変動と予測指標の検討) 2013 年 3 月 26 日、第 124 回日本森林学会大会、岩手大学農学部(岩手県盛岡市)

Igarashi Y、Sato T、Tanaka N、Tanaka K、Yoshifuji N、Suzuki M、Estimate of Six-year Evapotranspiration Over a Teak Plantation in Northern Thailand、2012 年 9 月 19 日、3rd International Conference on Forest & Water in a Changing Environment、福岡工業大学(福岡県福岡市)

Yoshifuji N、Igarashi K、Kosugi Y、Tantasirin C、Suzuki M、Effect of leaf morphological and photosynthetic characteristics on canopy carbon and water fluxes of atek plantation in northern Thailand、The 5th EAFES International Congress、2012 年 3 月 20 日、龍谷大学瀬田キャンパス(滋賀県・大津市)

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

吉藤 奈津子 (YOSHIFUJI、Natsuko)

京都大学・農学研究科・研究員

研究者番号 : 80514223

### (2)研究分担者

( )

研究者番号 :

### (3)連携研究者

( )

研究者番号 :