

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 30 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25850108

研究課題名(和文) 光合成特性の解明を通じたカンボジアの森林蒸散の季節変動メカニズムの解明

研究課題名(英文) Transpiration characteristics of forests in Cambodia under fluctuating environmental conditions

研究代表者

宮沢 良行 (Miyazawa, Yoshiyuki)

九州大学・学内共同利用施設等・研究員

研究者番号：80467943

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：インドシナ半島に生育する在来種および木材の急速な生産を期待して植栽された外来種について、成長および水資源への影響を考慮する際に重要な情報である、葉の生理特性の収集を実施した。定期的な計測による知見収集、および樹液流計測による連続観測値を用いた、生理特性のモデル逆算による連続的な推定を実施した。対象樹種は、土壤の乾燥や湛水条件に対して、異なる蒸散速度の変化を示し、強い種特異性を示した。葉の生理特性の主要要素である光合成能力には変化は見られず、可塑性の高い水利用効率などの変化が蒸散速度を変化させていた。これらの知見を用いることで、この地域の植物の生長や蒸散を推定することが可能になると期待される。

研究成果の概要(英文)：I conducted the measurements of leaf-level ecophysiological traits, which influence the carbon and water cycle of the ecosystem, in Indochina Peninsula. Periodical monitoring and inverse modelling of leaf-level traits using the weather and continuously obtained sap flux data suggested the species-specific seasonality in transpiration rates in responses to the flooding and drought. Among the leaf traits, photosynthetic capacity did not show clear seasonality, suggesting that plastic ecophysiological traits, leaf water use efficiency, changed the transpiration rates under environmental changes in this region. Knowledge obtained in this study will be useful for the precise prediction of carbon and water exchange between the atmosphere and the vegetation. Without knowledge obtained in situ, ecophysiological traits obtained in nearby but different environments will provide biased modeled carbon and water exchange.

研究分野：ecohydrology

キーワード：Transpiration photosynthesis non-native species native species Asian monsoon drought flooding

1. 研究開始当初の背景

東南アジアのインドシナ半島では、多くの地域において、雨量の明確に異なる雨季と乾季が存在する。乾季には土壤中の水分が植物にとって利用できないほどに低下するため、植物による水資源の消費：蒸発散もまた低下することが多くの生態系で知られている。一方雨季には、豊富な土壤水分を吸い上げることが出来るため、植物の成長は土壤水分によって制約されることもなく、またこの時期の成長を大きくするために、植物は葉の光合成特性などを変化させることにより、成長速度を大きくすることも知られている。

インドシナ半島の中央に存在するカンボジアは、その中央に拡大縮小する湖、トンレサップ湖を擁する。その周辺の広大な地域では地下水位の大きな変動によって、土壤水分もまた大きく季節変動することが知られている。こうした極端な土壤水分の変化が調べられた例は世界的にも乏しく、乾季の渇水および雨季の公的な水環境、というこれまで調べられてきた生態系とは異なる環境に植物が晒されていると考えられる。カンボジアの面積はインドシナ半島では決して大きくはないものの、森林破壊が広く進んだ他のインドシナ半島諸国とは対照的に多くの森林資源が残っている地域でもある。こうした地域の水文過程を理解することは、この地域の水資源の実態の理解、植物の生長および環境変動の影響の理解、そして気候変動下での生態系の行く末を占う上でも極めて重要である。

2. 研究の目的

生態系による水資源消費の指標である蒸発散の主要要素であり、また植物の生長および枯死の回避に関する指標でもある蒸散速度を連続的に自動観測する。また得られた数値および定期的な現地調査で得られた個葉スケールの生理特性のデータとの組み合わせにより、計測期間中の樹木の生理特性の連続的な観測を行う。また樹木の生理特性が変化する環境条件に対して採る応答を解明し、気象条件の年内および年々変動を植物の生長および水利用の変動という観点から評価する。

3. 研究の方法

これまでの研究活動によって設置された、カンボジアコンポンチュナン州の Svay Bakav 試験地において本研究は実施された。Svay Bakav 試験地は 10 年前に伐採が終了し、その後は外来種の植栽および在来種の自然更新によって成立した森林である。カンボジア政府により Community forest に指定されており、この地域での伐採は禁止され、付近のコミュニティによって維持管理されている。

このコミュニティフォレスト内の一区画に試験地を設置し、存在する樹種 4 種について樹液流計測、森林の構造データの収集および光合成データの収集を実施した。対象とした樹種は、フタバガキ科、サラノキ科の在

来二種、そしてアカシアとユーカリの外来種二種である。樹液流計測には、Granier 式熱消散式樹液流センサーを設置した。センサーはケーブルに接続され、ヒーターのための電力供給およびセンサーからの電気信号(熱電対による電圧発生)の記録を行った。得られたデータはデータロガーによって 30 秒間隔で記録され、10 分間隔で計測データの平均値が記録された。計測値は、通水機能を持つ材(辺材)の単位面積あたりの速度(g/m² 辺材/s)なので、辺材面積および単位地上面積あたりの辺材面積を計算することで、群落スケールの総蒸散速度に換算した。辺材面積の推定には、過去の研究で伐倒により得られた垂口メトリックを使用した。樹液流計測のための電力にはソーラーパネルおよび日射のないときにはバッテリーを使用した。また林外に気象ステーションを設置して、日射量、温湿度、風速風向、土壤水分含量、地下水位の観測を実施した。

光合成特性の計測は、3-4 ヶ月間隔で現地で行った。光合成の計測には光合成蒸散計測装置 (Li-6400, Li-cor, Lincoln, NE) を用いた。計測項目は、光飽和状態での光合成-葉内 CO₂ 関係、光-光合成速度関係および光合成を含むガス交換速度の日中変化である。これらのデータを基に、光合成能力の指標である、RuBP carboxylation の最大反応速度(葉温 25 での数値に補正、V_{max25})、暗呼吸速度、そして気孔コンダクタンスの環境応答の指標であり、水利用効率との関係が強い指標 Ball-Berry の m(Collatz et al. 1991)を算出した。

得られたデータを基に、個葉スケールから群落スケールへのスケールアップを実施した。森林群落を上下 5 つの層に分割し、各層での微気象条件、光合成および蒸散速度を算出し、積算した。日射量については、直接光および間接光について個別に計算し、間接光については森林上部からの葉面積(積算葉面積指数)に応じて指数関数的に減衰するという前提で計算した。また直接光については、林内での数値は変えないものの、各層の葉群について直接光の当たる面積の割合が指数関数的に減衰するという計算を行った。CO₂ 濃度および水蒸気濃度もまた総ごとに異なることが知られているが、群落スケールの光合成速度および蒸散速度に及ぼす影響は極めて小さい上に、計算速度を著しく低下させる、または計算結果が収束しにくくなる上、実測による検証するための機材もないことから、本モデルでは大気中の数値を各層について使用することにした。気象環境および個葉スケールの生物学的な反応に加え、葉面での熱収支を、日射の吸収量、蒸散および顕熱による熱の放散、そして放射による熱の損失を計算することにより算出した。なお樹液流速度と蒸散速度には、幹内の貯留水の利用によりタイムラグがあるが、一日の積算値にはタイムラグがほとんどないことが多くの研

究により指摘されている。そこで、樹液流速で得られた蒸散速度と、多層モデルで得られた蒸散速度の比較を、一日あたりの総蒸散速度で比較を行い、その数値および日々変化がモデルで再現できているのか、また再現できない場合には計算過程あるいはモデルの入力指標をどのように変えれば再現できるのか、検証した。

計算で使用する光合成特性の入力値を変えながら、実測された蒸散速度と一致する数値を探すことで、樹液流速が計測された各時期の個葉スケールの生理特性を長時間分解能で連続推定した。

4. 研究成果

計測環境では、夏の湛水と冬の湧水という極端な地下水水分条件を計測することが出来た。こうした極端な水条件以外では、計測に用いた4樹種では光合成特性および蒸散速度に明確な違いは見られなかったが、湧水条件では在来種で蒸散速度の低下が、また湛水条件では外来種での蒸散速度の低下が観測された。この間、どちらの樹種についても、葉量の指標である葉面積指数(LAI)および個葉スケールの光合成特性には明確な低下が見られなかった。

多層モデルにより推定された群落スケールの蒸散速度と樹液流計測から推定された蒸散速度とは、数値およびその季節変化がほぼ一致した。ただユーカリについては推定値が実測値を過小評価していた。この原因は、計測対象に用いたユーカリ個体の多くが突出木であり、計算で使用した光環境の計算が同様の樹高を持つ樹木個体に囲まれた林内個体を前提していた違いに起因すると考えられる。多層モデルで推定された蒸散速度には、樹液流計測で観察されたような乾季雨季の低下は観察されないことから、蒸散速度の突発的な低下の原因は蒸散速度を規定する葉の生理特性の変化および大気環境や日射の季節変化により引き起こされたのではないことが明らかとなった。こうした蒸散速度の低下は、 V_{cmax25} および m を近傍時期の計測値よりも低下させることで再現することが出来た。だが、瞬発的な個葉スケールの生理特性の低下および直後の回復は、計測データを観察する限り現実的ではない。そのほかの時期については、入力データで得る光合成特性を大きく変えることなくうまく推定することが出来たことから、個葉スケールの生理特性については環境条件の大きな変化にもかかわらずほとんど変化がなかったのだと結論づけた。

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)

Miyazawa, Y., Manythong, C., Fukuda, S., Ogata,

K., 2014a. Comparison of the growth traits of a commercial pioneer tree species, paper mulberry (*Broussonetia papyrifera* L. Vent.), with those of shade-tolerant tree species: investigation of the ecophysiological mechanisms underlying shade-intolerance. *Agroforestry Systems* 88, 907-919. 査読あり

Miyazawa, Y., Tateishi, M., Komatsu, H., Iwanaga, F., Mizoue, N., Ma, V., Sokh, H., Kumagai, T., 2014b. Implications of leaf-scale physiology for the tree transpiration characteristics under seasonal flooding and drought in central Cambodia. *Agricultural and Forest Meteorology* 198-199, 221-231. 査読あり

Miyazawa, Y., Tateishi, M., Komatsu, H., Ma, V., Kajisa, T., Sokh, H., Mizoue, N., Kumagai, T., 2014c. Tropical tree water use under seasonal waterlogging and drought in central Cambodia. *Journal of Hydrology* 515, 81-89. 査読あり

〔学会発表〕(計 5 件)

Miyazawa, Y., Inoue, A., Maruyama, A., 2013a. Transpiration characteristics of forests and shrubland under land cover change within the large caldera of Mt. Aso, Japan. In: AGU Fall Meeting 2013, San Francisco.

Miyazawa, Y., Kobayashi, N., Mudd, R.G., Tateishi, M., Lim, T., Mizoue, N., Giambelluca, T.W., Kumagai, T., 2013b. Leaf and soil-plant hydraulic processes in the transpiration of tropical forest. In: Poster (Editor), FOUR DECADES OF PROGRESS IN MONITORING AND MODELING OF PROCESSES IN THE SOIL-PLANT-ATMOSPHERE SYSTEM: APPLICATIONS AND CHALLENGES, Naples.

岩永史子、宮沢良行、加治佐剛、溝上展也、矢原徹一, 2014. カンボジア二次林植栽樹木の浸透調整物質蓄積. In: Poster (Editor), 日本生態学会第61回全国大会 広島市.

宮沢良行、立石麻希子、熊谷朝臣、溝上展也、Ma, V., Heng, S., 2014. カンボジアの森林における蒸散の季節変動への個葉特性の寄与. In: Poster (Editor), 日本水文水資源学会2014年度研究発表会, 宮崎市.

立石麻紀子、宮沢良行、熊谷朝臣、Vuthy, M., Heng, S., 溝上展也, 2013. カンボジア・コミュニティフォレストにおける樹木蒸散の樹種間比較. In: Poster (Editor), 日本生態学会第58回全国大会, 札幌市.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

宮沢良行 (MIYAZAWA, Yoshiyuki)
九州大学東アジア環境研究機構
研究者番号：80467943

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

熊谷朝臣 (KUMAGAI, Tomoomi)
名古屋大学地球水循環研究センター
研究者番号：

小林菜花子 (KOBAYASHI, Nakako)
名古屋大学地球水循環研究センター
研究者番号：

立石麻紀子 (TATEISHI, Makiko)
九州大学演習林
研究者番号：

岩永史子 (IWANAGA, Fumiko)
九州大学農学研究院
研究者番号：

溝上展也 (MIZOUE, Nobuya)
九州大学農学研究院
研究者番号：