

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19255006

研究課題名（和文） 短期乾燥が熱帯雨林生態系に与える影響に関する野外操作実験

研究課題名（英文） Field experiment on the effects of short-term drought on tropical rain forest ecosystem.

研究代表者

中静 透 (NAKASHIZUKA TOHRU)

東北大学・大学院生命科学研究科・教授

研究者番号：00281105

研究成果の概要（和文）：マレーシア連邦サラワク州のランビル国立公園で、林冠木に半径 15 mの傘状の降水遮断装置を設置し、熱帯林の一斉開花を人工的に誘導する野外操作実験を行った。効果的な降水遮断により、開花をほぼ誘導できることが分かった。同時に、樹木林冠部の水ポテンシャルや葉の水分特性などに変化が見られた。また、樹幹流、蒸散量、土壌呼吸、菌根活性などの変化をモニタリングできた。

研究成果の概要（英文）：A field experiment to cause flowering induction was conducted in a tropical rainforest at Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia. We established a big umbrella with 15m radius to prevent most rainfall to be received by the target tree root. The target trees made flowers by the experiment, and the method seems effective to cause artificial flowering induction. The changes in water potential of trees, sap flow, soil respiration, and fungal activities during the experiment were also monitored to discuss the effect of the artificial drought.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	12,600,000	3,780,000	16,380,000
2008年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2009年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2010年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
年度			
総計	29,700,000	8,910,000	38,610,000

研究分野：森林生態学

科研費の分科・細目：生物学、生態・環境

キーワード：熱帯雨林、一斉開花、短期乾燥、操作実験、生態系

1. 研究開始当初の背景

温暖化などの気候変動が生態系に与える影響については、学術的にも社会的にも問題となっていた。これまで行われている予測では、熱帯地方では温度条件の変化より降水量の変化が大きいといわれている（たとえば、The Hadley Center の予測など）。しかし、降水量の変化が生態系に与える影響については未解明な部分が多く、研究も始まったばかりであった。今後乾燥化すると予測されている

アマゾン地域では、乾燥に対する生態系の反応を予測するために、熱帯雨林で人工的に乾燥条件を作りだし、土壌から林冠部にいたる影響調査を行う操作実験が開始されていた。Global Canopy Program (GCP, 国際的な林冠研究ネットワーク)では、こうした研究を他の熱帯地域でも行う必要性を強く主張していた。

東南アジアの湿潤熱帯では、乾燥化と湿潤化という両方の予測があるが、生態系の反応

予測のための資料はほとんどなかった。一方、本研究に加わる研究者グループは、これまでボルネオ島の熱帯雨林の林冠研究を10年以上にわたって継続してきており、短期間の乾燥がこの地域特有の一斉開花現象の気象トリガーになっていることを経験的に発見していた (Sakai et al. 2006, Amer J Bot 93:1134-1139)。それによれば、十分な降水量があり、季節変化も明瞭でない湿潤地域でも、30日間の積算雨量で40mmを割るような乾燥があると一斉開花が起こる。また、より弱い乾燥の後には一斉展葉が見られるという傍証もある (Ichie et al. 未発表)。したがって、たとえ年間雨量や平均気温での変化が少なくても、短期間の乾燥の頻度や強さなどが変化することによって、森林の物質生産や更新に重要な影響を与える可能性が高い。今後予想される気候変化に対して、生態系がもつキャパシティを知り、影響予測のための基礎的情報を得ることはきわめて重要であった。

これまでの研究から、経験的には短期の乾燥が展葉や開花など樹木のフェノロジーに重要であることがわかっているが、これらを実際実験によって再現できるのか、ということが大きな問題である。展葉や開花・結実には炭水化物だけでなく栄養塩の異動が起こることがこれまでわかっているが (Ichie et al. 2005, J Trop Ecol 21: 237-241)、展葉や開花が予測できないため、その詳細やメカニズムを解明することができなかった。

2. 研究の目的

この研究では、熱帯雨林で降水の一部を遮断することによって、人工的に乾燥状態を作り出し、展葉・開花などを再現させることを第一の目標とし、その上で以下のような問題を明らかにする。

1) 展葉・開花を引き起こす乾燥の閾値の実験的解明、2) 展葉・開花・結実に伴う樹木内部の炭水化物や栄養塩の動態、3) 乾燥が樹木の水収支に与える影響、4) 展葉にともなう食葉性昆虫の動態、5) 開花にともなう送粉共生系の変化、6) 結実にともなう種子-種子捕食者関係の変化、7) 乾燥が分解系 (含む、土壌呼吸) に与える影響。

3. 研究の方法

実験はマレーシア連邦サラワク州ランビル国立公園で行った。この場所の熱帯雨林は、1992年以来、この応募研究に参加する研究者がサラワク州森林局と共同で林冠プロセスの研究を継続してきた場所で、生態学および森林気象学的知見が蓄積されていた。この熱帯林で、すでに設置されているウォークウェイおよび林冠クレーンなどでアクセス可能であり、かつ同種の林冠木を数個体選び、対

象木とする。それぞれの樹木について必要な事前調査を約半年かけて行ったあと、その周囲 (半径約15m) に降水遮断装置を設置した (写真1, 2)。



写真1. 降水遮断装置 (横から)



写真2. 降水遮断装置 (上部から)

2007年12月、および2008年11月に降水遮断装置を行った。降水遮断装置は、木製のフレームとビニールシートを用いた傘状の構造をもち、数ヶ月の使用に耐える一時的な工作物として作成した。降水遮断実験対象個体は、40日間降水を遮断した後、遮断装置を取り除いた。その間、林冠クレーンなどの林冠アクセス装置を用いて、開花を観測した。設置前から設置後にかけて、以下の観測を行っている。

- 1) 調査対象木周辺の林床に達する降水量
- 2) 樹木各部の栄養塩および炭水化物濃度
- 3) 蒸散速度、水ポテンシャル、樹幹流速
- 4) 展葉にともなう食葉性昆虫動態
- 5) 落葉量、土壌水分、分解速度

4. 研究成果

2007年の実験は、降水遮断装置の一部が破損し、降水の遮断が不完全であった。2008年の実験では、この部分を改良してほぼ目的通りに降水遮断ができた。降水の遮断によって、

処理木の水ポテンシャルは明瞭に低下し、遮断装置を取り除くと対照木と同じに戻った(図1)。

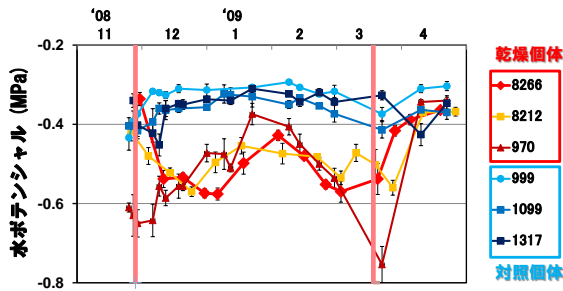


図1. 降水遮断による水ポテンシャルの変化

一方、葉の原形質分離を起こす水ポテンシャルも、処理木では一律に低下したが、対照木では低下しなかった。これらのことから、遮断装置は、処理木に対して効果的に乾燥状態を作り出していることがわかる。

2007年の降水遮断では、処理木3個体のうち1個体のみが開花した。この時開花しなかった2個体は、降水遮断実験直前に大量の開葉があった。このことは、樹木の貯蔵物質が関係している可能性を示唆する。

2008年の降水遮断実験では、処理木3個体はいずれも開花し、対照木2個体は開花しなかった。対照木のうち1個体は降水遮断時期に起こった弱い乾燥により、わずかに開花した(図2)。開花個体の開花量はこの個体よりも圧倒的に多く、降水遮断が少なくとも開花に効果があることは明らかである。

対象木&コントロール開花状況

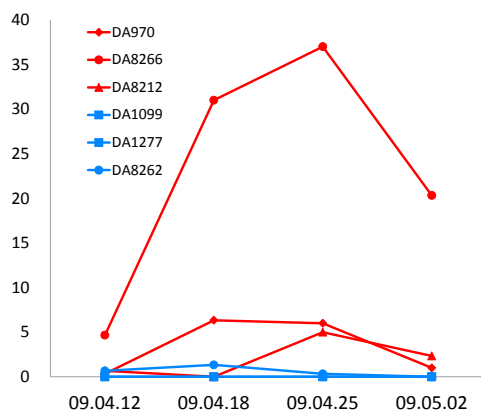


図2. 落下した花の量。赤は処理個体、青は対照個体。

これらのことから、今回の手法による降水遮断が開花促進に有効であることが示された。

これらのほか、乾燥による樹幹流や蒸散量の変化、実験を通じての栄養塩動態、土壌呼吸量、菌根活性などについて、現在結果を分析中であり、今後公表する予定である。

なお、2009年から2010年にかけても実験を準備していたが、自然状態による一斉開花が始まったため、予定を変更して、自然状態での開花観測に切り替えた。今後、人工的な開花との比較を分析する予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 18 件、うち査読あり 18 件)

1. Ichie, T. & Nakagawa, M. 2011. Dynamics of mineral nutrient storage for mast reproduction in the tropical emergent tree *Dryobalanops aromatica*. *Ecological Research* (in press) (査読あり).

2. Kume, T., Tanaka, N., Kuraji, K., Komatsu, H., Yoshifuji, N., Saitoh, T. M., Suzuki, M. and Kumagai, T. 2011. Ten-year evapotranspiration estimates in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* (in press) (査読あり).

3. Kishimoto-Yamada, K., Itioka, T., Sakai, S. & Ichie, T. 2010. Seasonality in light-attracted chrysomelid populations in a Bornean rainforest. *Insect Conservation and Diversity* 3, 266-277 (査読あり).

4. Yamashita S, Hattori T, Ohkubo T & Nakashizuka T. 2009. Spatial distribution of the basidiocarps of aphyllporaceous fungi in a tropical rainforest on Borneo Island, Malaysia. *Mycological Research* 113, 1200-1207 (査読あり).

5. Tokumoto, Y., Matsushita, M., Tamaki, I., Sakai, S., & Nakagawa, M. 2009. How does flowering magnitude affect seed survival in *Shorea pilosa* (Dipterocarpaceae) at predispersal stage in Malaysia? *Plant Species Biology* 24, 104-108 (査読あり).

6. Yamashita, S., Hattori, T., Momose, K., Nakagawa, M., Aiba, M. & Nakashizuka, T. 2008. Effects of forest use on Aphyllporaceous fungal community structure in Sarawak, Malaysia. *Biotropica*, 40: 354-362 (査読あり).

7. Katabuchi, M., Harrison, R.D., & Nakashizuka, T. 2008. Documenting the effect of foundress number in a dioecious fig, *Ficus fistulosa*. *Biotropica*, 40: 457-461 (査読あり).

8. Kurokawa, H. & Nakashizuka, T. 2008. Leaf herbivory and decomposability in a Malaysian tropical rain forest. *Ecology*, 89: 2645-2656 (査読あり).

9. Ohashi, M., Kumagai, T., Kume, T., Gyokusen, K., Saitoh, T. M. and Suzuki, M. (2008) Characteristics of soil CO₂ efflux variability in an aseasonal tropical rainforest in Borneo Island. *Biogeochemistry*, 90, P275-289 (査読あり).

10. Kume, T., Manfroi, O. J., Suzuki, M., Tanaka, K., Kuraji, K., Nakagawa, M., Komatsu, H. and Kumagai, T. (2008) Estimation of vertical profiles of leaf drying times after rainfall within a Bornean tropical rainforest. *Hydrological Processes*, 22, P3689-3696 (査読あり) .

11. Kume, T., Manfroi, O. J., Kuraji, K., Tanaka, N., Horiuchi, T., Suzuki, M. and Kumagai, T. (2008) Estimation of canopy water storage capacity from sap flow measurements in a Bornean tropical rainforest. *Journal of Hydrology*, 352(3-4), P288-295 (査読あり) .

12. Kitahashi, Y., Ichie, T., Maruyama, Y., Kenzo, T., Kitaoka, S., Matsuki, S., Chong, L., Nakashizuka, T. and Koike, T. (2008) Photosynthetic water use efficiency in tree crowns of *Shorea beccariana* and *Dryobalanops aromatica* in a tropical rain forest in Sarawak, East Malaysia. *Photosynthetica* 46(1): 151-155 (査読あり) .

13. Kishimoto-Yamada, K. and Itioka, T. (2008) Consequences of a severe drought associated with an El Niño-Southern Oscillation on a light-attracted leaf-beetle (Coleoptera, Chrysomelidae) assemblage in Borneo. *Journal of Tropical Ecology* 24: 229-23 (査読あり) 3.

14. Kishimoto-Yamada, K. and Itioka, T. (2008) Survival of flower-visiting chrysomelids during non general-flowering periods in Bornean dipterocarp forests. *Biotropica* 40(5): 600-606 (査読あり) .

15. Ueda, S., Quek, S-P., Itioka, T., Inamori, K., Sato, Y. and Murase, K. and Itino, T. 2008. An ancient tripartite symbiosis of plants, ants and scale insects. *Proceedings of the Royal Society B* 275: 2319-2326 (査読あり) .

16. Nakagawa, M., Hyodo, F. & Nakashizuka, T. 2007. Effect of forest use on trophic levels of small mammals: An analysis using stable isotopes. *Canadian Journal of Zoology* 85, 472-478 (査読あり) .

17. Aiba, M. & Nakashizuka, T. 2007. Differences in the dry-mass cost of sapling vertical growth among 56 woody species co-occurring in a Bornean tropical rain forest. *Functional Ecology* 21, 41-49 (査読あり) .

18. Nakagawa, M., Miguchi, H., Sato, K., Sakai, S. & Nakashizuka, T. 2007. Population dynamics of arboreal and terrestrial small mammals in a tropical rainforest, Sarawak, Malaysia. *The Raffles Bulletin of Zoology* 55, 389-395 (査読あり) .

[学会発表] (計 5 件)

1. Nakashizuka, T. General flowering and associated ecological events in a dipterocarp forest. Seminar & Excursion, "Ecology and Genetics of Dipterocarps - Its role in sustainable forest management -" 25-26 January 2011, Genting, Malaysia.
2. Ichie, T. Resource allocation to reproduction in a tropical emergent tree species, *Dryobalanops aromatic*. The 2010 International meeting of the Association for Tropical Biology and Conservation. Bali, Indonesia. 2010.7.21
3. Sakai, S. Progress in canopy studies in Lambir Hills: Update on drought experiments. 5th International Canopy Conference, 2009.10.28. Bangalore, India.
4. Itioka, T., Kishimoto-Yamada, K., Yamauti, M. Effects of severe ENSO-related drought on insect diversity and abundance in the Southeast Asian tropics. (The Annual Meeting of the Association for Tropical Biology and Conservation, "Past and Recent History of Tropical Ecosystems: Cross-Continental Comparisons and Lessons for the Future") 2008 June.11, Paramaribo, Suriname.
5. Tokumoto, Y., Matsushita, M., Nakagawa, M. How dose the flowering magnitude affect seed survivorship at pre-dispersal stage of *Shorea pilosa* (Dipterocarpaceae)? ATBC, Asia-Pacific chapter, 25. April 2008, Kuching, Sarawak.

[図書] (計 4 件)

1. 中静 透. 2011. 地球環境と生態系の長期変動を明らかにする. 「エコロジー講座 4: 地球環境問題に挑む生態学」 pp. 6-17. 文一総合出版.
2. Kumagai, T. 2011. (Eds.) Levia, D. F., Carlyle-Moses, D. E. & Tanaka, T. Transpiration in forest ecosystems. (In: Forest Hydrology and Biogeochemistry: Synthesis of Past Research and Future Directions. Ecological Studies Series No. 216. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany (In press).
3. 市岡孝朗 2008. 環境と生態系: なぜ熱帯雨林を守らなければならないのか. 「地球環境学へのアプローチ」 (京都大学地球環境学研究会 編), pp. 190-204, 丸善, 東京.
4. 中静 透. 2008. 森は動いている. 「エコロジー入門: 森の不思議を解き明かす」 pp. 6-15. 文一総合出版.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中静 透 (NAKASHIZUKA TOHRU)

東北大学・大学院生命科学研究科・教授

研究者番号：00281105

(2) 研究分担者

酒井 章子 (SAKAI SHOKO)

総合地球環境学研究所・研究部・准教授

研究者番号：30361306

市岡 孝朗 (ITIOKA TAKAO)

京都大学・大学院地球環境学堂・准教授

研究者番号：40252283

市栄 智明 (ICHIE TOMOAKI)

高知大学・農学研究科・准教授

研究者番号：80403872

中川 弥智子 (NAKAGAWA MICHIKO)

名古屋大学・生命農学研究科・准教授

研究者番号：70447837

熊谷 朝臣 (KUMAGAI ASAOMI)

九州大学・農学研究科・准教授

研究者番号：50304770

(3) 連携研究者

なし