

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25281005

研究課題名(和文) 植生の人為改変はボルネオの気候を変えている？

研究課題名(英文) Can tropical deforestation alter the local climate over Borneo?

研究代表者

熊谷 朝臣 (Kumagai, Tomo'omi)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授

研究者番号：50304770

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：地表面の被覆状態が変化することで、将来に熱帯域の大気・陸面相互作用がどのように変化し、降水量等に影響するのかについて明らかにするために、ボルネオ島を対象として、地表面被覆が降水量へ及ぼす影響の違いに関する数値実験を行った。対照実験(C)、気孔開度低下、標高100m以下森林伐採(B-1)、全森林伐採(B-2)の各実験について、現在気候実験の結果から将来気候実験の結果への変化としてみると、B-2のように蒸発散量が小さい条件では、現在気候実験から将来気候実験の降水量の変化は小さく、B-1、Cと蒸発散量が大きくなるとともに、現在気候実験に対する将来気候実験の降水量の変化が大きくなっていった。

研究成果の概要(英文)：This study investigates the influences of land cover change on the amount of precipitation over land in the Borneo Island, using numerical simulations with the Weather Research and Forecasting model. The simulation of forest degradation, in which stomatal conductance was reduced, resulted in increase in monthly accumulated precipitation (Pac) over land, even though monthly accumulated evapotranspiration (Eac) decreased. This was likely attributed to enhanced convergence of water vapor flux (Qf) in the inland area in nighttime. By contrast, two cases of the simulations of deforestation resulted in decrease in Pac over land. The amplitude of decrease in Pac was nearly proportional to the deforested area. This was likely attributed to weakened convergence of Qf in the coastal land area in late afternoon and in the inland area in nighttime. Drying of the atmosphere caused by the weakened convergence of Qf induced lifting of condensation level and weakened the atmospheric instability.

研究分野：生物地球科学

キーワード：森林 気候変動 土地利用変化 熱帯雨林 東南アジア

### 1. 研究開始当初の背景

気候変動は、時空間スケールの大きい大気循環の変化により引き起こされる。一方で、人為的な土地利用変化・地表面改変は、局地～地球規模循環に影響を及ぼし、結果として気候変動を起こし得る。また、気候変動は主要な地表面過程である植生活動に影響し、例えば、高温・乾燥化は強いストレスを与えることになる。植生は太陽放射エネルギーを効率良く吸収し、蒸発散によりその多くを潜熱に変換する。そのため、強いストレスを与えられた地表面(植生)状態は大きく変化し、大気-地表面間の熱交換過程にまで影響する。つまり、気候変動は植生に影響を及ぼし、影響を受けた植生もまた気候システムに影響を与えるという相互作用が存在すると言える。そこで本申請課題では、まず、(1)長期・広域データの活用により実際の気候変動パターンを検出、そして、(2)この気候変動パターンを規定する要因を特定する。(3)考えられる気候変動による植生ストレスとストレス条件下での大気-地表面交換過程のモデル化を行い、(4)(1)～(3)の結果を統合・モデル化し、その数値シミュレーションによって植生-気候システム相互作用系を解明しようとした。

### 2. 研究の目的

本研究開始時、以下のような事実が既に了解されていた。(1)インド洋から西太平洋にかけて、過去60年間、ウォーカー循環が弱体化し、これに起因して海洋大陸上における水蒸気収束、雲量・降水量の減少が顕在化している。事実、ボルネオ島全域の降水量は、過去50年間減少傾向にある。(2)海洋域に比べ、ボルネオ島全域に渡る降水量は格段に多い一方で、水蒸気収束量は格段に少ない。これは、ボルネオ島全域の降水の大部分は陸域からの蒸発散によってリサイクルされている可能性を示唆している。(3)過去50年間でボルネオ島全域の森林面積は激減している。ボルネオ島全域の蒸発散の特性・量は大きく変化したと考えられる。以上より本研究では、まず、背景として気候変動の影響下で大きな大気循環が変化して、ボルネオ島全域の降水量が減少し、これに森林面積激減がさらに拍車をかけた、という仮説を立て、植生過程を強化した局地気候モデルによる検証を行うこととした。また、本研究グループは、気候変動による強度乾燥によってボルネオ島の森林が崩壊・衰退に至るリスクの解析・モデリングに成功している。そこで、この成果を上記仮説検証に援用することで植生の存在が降水量に及ぼす影響と同時に降水量の減少が植生の衰退を引き起こす過程、すなわち、植生と降水量の相互作用系を解明することとした。

### 3. 研究の方法

実測データを利用し、局地気候モデルの正

当性確認を行う。その結果をもって、局地気候モデルに植生改変データを入力、数値実験を行う。

既存試験地の熱・水・二酸化炭素フラックスデータの利用は、ボルネオ島における土地利用変化による大気-陸面過程の変化を記述するための基礎データとなる。そこで、本研究では、まず、既存試験地の観測項目を揃えること、不足している観測項目を整備することを行った。結果として、実測データセットの完備を行うこととなった。

局地気候モデルとしては、Weather Research & Forecasting Model (WRF)の植生過程サブモデルを強化・カスタマイズして利用した。また、植生特性パラメータには、実測試験地からのフラックスデータから得られる、より現実的な値を使用した。

ボルネオ島全域における過去50年間の降水量の変遷についてはAPHRODITE、NCEP-NCARといった客観解析データ、土地利用変化についてはUNEP/GRIDのような全球スケールの土地利用変化マップを利用した。

ボルネオ島全域の土地利用区分マップを得て、各地表面クラスの交換過程特性を入力して、土地利用変化に伴う降水量を含む気候変数の変化を数値シミュレーションにより再現した。この再現計算の過程で、土地利用変化が局地気候に影響を与える要因についての検討を行うこととなった。

### 4. 研究成果

数値実験に用いたモデルはWRF-ARW v3.5.1であり、計算領域はボルネオ島とその周辺の海域を含む領域である。現在気候の条件下における実験では、初期値・境界値条件のデータとしてERA-Interimの再解析データを用いた。2-way nestingを行い、第一領域の格子幅を10.5 km、第二領域の格子幅を3.5 kmとした。第一領域では積雲パラメタリゼーションにKain-Frisch schemeを用い、第二領域では積雲パラメタリゼーションを用いていない。計算期間は2004年3月25日12時から2004年4月30日18時までの約36日間であり、初めの約5日間をspin upの期間として、解析期間を4月1日から4月30日の30日間とした。この期間はMJOの影響が小さく、台風の発生もないため、土地被覆の影響を調べるために適しているといえる。行った実験は、USGSの土地被覆データに基づいた実際の土地被覆状態を仮定した実験(Control)、Controlの常緑広葉樹の最大気孔コンダクタンス( $G_{cmax}$ )の値を0.2倍に変えた実験(0.2 $G_{cmax}$ )、Controlの常緑広葉樹の最大気孔コンダクタンスの値を0.02倍に変えた実験(0.02 $G_{cmax}$ )、標高が100 mより低い土地(全陸地の約36%の面積を占める)の被覆を荒地に変えた実験(Barren-1)、そしてボルネオ島全体の土地被覆を荒地に変えた実験(Barren-2)の5通りである。

また、現在気候実験に加え、将来気候の条

件下における試験的実験を行った。初期値・境界値条件のデータとして、MRI-AGCM3.2Sによる RCP8.5 シナリオの下での出力データを用いた。また、本実験では試験的に、地表面と土壌内のデータには、現在気候の実験で用いた ERA-Interim の再解析データを、温度データのみ 2.4 だけ上昇させたデータを用いた。Nesting は用いず、格子幅を 3.5 km とし、計算領域は現在気候実験の第二領域と同じとした。積雲パラメタリゼーションは用いていない。計算期間は 2099 年 3 月 25 日 12 時から 2099 年 4 月 30 日 18 時までの約 36 日間であり、初めの約 5 日間を spin up の期間として、解析期間を 4 月 1 日から 4 月 30 日の 30 日間とした。この将来気候実験においては、現在気候実験で行った 5 種類のうち 4 種類の土地被覆条件の実験 (Control, 0.2Gcmax, Barren-1, Barren2) を行った。

各実験における 30 日間の積算蒸発散量と積算降水量の結果を詳報する。現在気候実験の結果をみると、Barren-1 と Barren-2 においては、Control と比較して蒸発散量と降水量の両方が減少しており、荒地の面積が大きい Barren-2 の方がそれらの減少量が大きい。一方、現在気候実験の 0.2Gcmax と 0.02Gcmax においては、Control と比較して、蒸発散量は減少するが、降水量は逆に増加となった。ここでは Gcmax の減少量が大きい 0.02Gcmax の方が蒸発散量と降水量の変化量が大きい。これらの結果から、陸上における蒸発散量が減少したとしても、降水量の変化は増加にも減少にもなり得ることがわかる。降水量の増加または減少の方向性に影響する要素としては、地表面のアルベドが挙げられる。本実験では、常緑広葉樹のアルベドは 0.12 とし、荒地では 0.38 としている。これにより地表面における正味放射量に差が生じ、蒸発散量の違いによる下層大気気温、湿度への影響とともに、局地循環場や雲の形成に影響し、周辺海域からの水蒸気移流量にも影響したことが考えられた。Control を通り傾き 1 の直線と比較すると、Barren-1 では蒸発散量と降水量の減少量が同様の大きさとなっており、Barren-2 では降水量の減少量の大きさが蒸発散量の減少量の大きさよりも大きい。一方、Control を通り傾き -1 の直線と比較すると、0.2Gcmax と 0.02Gcmax のどちらの点もほぼ直線上にあり、蒸発散量の減少量と降水量の増加量が同様の大きさであった。本研究では Gcmax を減少させる実験と土地被覆を荒地に置き換える実験に限った結果ではあるが、それぞれにおいて、降水量の変化量の大きさは、蒸発散量の変化量の大きさと線形に近い関係となった。

次に、将来気候実験の結果をみると、上に示した現在気候条件下における各実験の関係の結果と概ね同様となっているが、現在気候実験における Barren-1 の点が傾き 1 の直線よりも若干下方に位置しているのに対し、将来気候実験における Barren-1 の点は、傾

き 1 の直線よりもさらに下方に位置している。このことから、蒸発散量の減少量に対する降水量の減少量が、将来気候実験における結果の方が大きいことがわかる。同様に Barren-2 においても、将来気候実験における蒸発散量の減少量に対する降水量の減少量が現在気候実験よりも大きくなっている。一方、0.2Gcmax の結果についてみると、現在気候実験と将来気候実験の違いは小さい。

また、本実験では現在気候として 2004 年 4 月の 30 日間の実験を行い、将来気候として 2099 年 4 月の 30 日間の実験を行ったのみであり、現在から将来への変化については十分に議論できないが、本実験で示した Control、0.2Gcmax、Barren-1、Barren-2 の各実験について、現在気候実験の結果から将来気候実験の結果への変化としてみると、Barren-2 のように蒸発散量が小さい条件では、現在気候実験から将来気候実験の降水量の変化は小さく、Barren-1、Control と蒸発散量が大きくなるとともに、現在気候実験に対する将来気候実験の降水量の変化が大きくなっている。このことから、ボルネオ島では、地表面からの蒸発散量が大きいほど、気温が上昇した将来気候条件下において降水量の増加量が大きくなる傾向があることが推察される。ただし、現在から将来における降水量変化については、El-Nino によるボルネオ島付近の降水量減少などの影響を含めたより長期の実験が必要と考えられる。

## 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 16 件)以下全て【査読有】

1. Ghannam, K., Nakai, T., Paschalis, A., Oishi, A. C., Kotani, A., Igarashi, Y., Kumagai, T., Katul, G. (2016) Persistence and memory timescales in root-zone soil moisture dynamics. *Water Resources Research*, 52, P1427-1445.
2. Giambelluca, T. W., Mudd, R. G., Liu, W., Ziegler, A. D., Kobayashi, N., Kumagai, T., Miyazawa, Y., Lim, T. K., Huang, M., Fox, J., Yin, S., Mak, S. V. and Kasemsap, P. (2016) Evapotranspiration of rubber (*Hevea brasiliensis*) cultivated at two sites in southeast Asia. *Water Resources Research*, 52, P660-679.
3. Katayama, A., Kume, T., Ohashi, M., Matsumoto, K., Nakagawa, M., Saito, T., Kumagai, T. and Otsuki, K. (2016) Characteristics of wood CO<sub>2</sub> efflux in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 220, P190-199.
4. Igarashi, Y., Katul, G., Kumagai, T., Yoshifuji, N., Sato, T., Tanaka, N., Tanaka, K., Fujinami, H., Suzuki, M. and Tantasirin, C. (2015) Separating physical and biological controls on

- long-term evapotranspiration fluctuations in a tropical deciduous forest subjected to monsoonal rainfall. *Journal of Geophysical Research -Biogeosciences*, 120(7), P1262-1278.
5. Igarashi, Y., Kumagai, T., Yoshifuji, N., Sato, T., Tanaka, N., Tanaka, K., Suzuki, M. and Tantasirin, C. (2015) Environmental control of canopy stomatal conductance in a tropical deciduous forest in northern Thailand. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, P1-10.
  6. Kumagai, T., Mudd, R. G., Giambelluca, T. W., Kobayashi, N., Miyazawa, Y., Lim, T. K., Liu, W., Huang, M., Fox, J. M., Ziegler, A. D., Yin, S., Mak, S. V. and Kasemsap, P. (2015) How do rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations behave under seasonal water stress in northeastern Thailand and central Cambodia? *Agricultural and Forest Meteorology*, 213, P10-22.
  7. Sato, H. Kumagai, T., Takahashi, A. and Katul, G. G. (2015) Effects of different representations of stomatal conductance response to humidity across the African continent under warmer CO<sub>2</sub>-enriched climate conditions. *Journal of Geophysical Research -Biogeosciences*, 120(5), P979-988.
  8. Tanaka, N., Levia, D., Igarashi, Y., Nanko, K., Yoshifuji, N., Tanaka, K., Tantasirin, C., Suzuki, M. and Kumagai, T. (2015) Throughfall under a teak plantation in Thailand: a multifactorial analysis on the effects of canopy phenology and meteorological conditions. *International Journal of Biometeorology*, 59(9), P1145-1156.
  9. Katayama, A., Kume, T., Komatsu, H., Ohashi, M., Matsumoto, K., Ichihashi, R., Kumagai, T. and Otsuki, K. (2014) Vertical variations in wood CO<sub>2</sub> efflux for live emergent trees in a Bornean tropical rainforest. *Tree Physiology*, 34(5), P503-512.
  10. Kobayashi, N., Kumagai, T., Miyazawa, Y., Matsumoto, K., Tateishi, M., Lim, T. K., Mudd, R. G., Ziegler, A., Giambelluca, T. W. and Yin, S. (2014) Transpiration characteristics of a rubber plantation in central Cambodia. *Tree Physiology*, 34(3), P285-301.
  11. Miyazawa, Y., Tateishi, M., Komatsu, H., Iwanaga, F., Mizoue, N., Ma, V., Sokh, H. and Kumagai, T. (2014) Implications of leaf-scale physiology for whole tree transpiration under seasonal flooding and drought in central Cambodia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 198-199, P221-231.
  12. Miyazawa, Y., Tateishi, M., Komatsu, H., Ma, V., Kajisa, T., Sokh, H., Mizoue, N. and Kumagai, T. (2014) Tropical tree water use under seasonal waterlogging and drought in central Cambodia. *Journal of Hydrology*, 515, P81-89.
  13. Nakai, T., Katul, G. G., Kotani, A., Igarashi, Y., Ohta, T., Suzuki, M. and Kumagai, T. (2014) Radiative and precipitation controls on root zone soil moisture spectra. *Geophysical Research Letters*, 41(21), P7546-7554.
  14. Katayama, A., Kume, T., Komatsu, H., Saitoh, T. M., Ohashi, M., Nakagawa, M., Suzuki, M., Otsuki, K. and Kumagai, T. (2013) Carbon allocation in a Bornean tropical rainforest without dry seasons. *Journal of Plant Research*, 126(4), P505-515.
  15. Kumagai, T., Kanamori, H. and Yasunari, T. (2013) Deforestation-induced reduction in rainfall. *Hydrological Processes*, 27(25), P3811-3814.
  16. Kumagai, T., Mudd, R. G., Miyazawa, Y., Liu, W., Giambelluca, T. W., Kobayashi, N., Lim, T. K., Jomura, M., Matsumoto, K., Huang, M., Chen, Q., Ziegler, A. and Yin, S. (2013) Simulation of canopy CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O fluxes for a rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation in central Cambodia: the effect of the regular spacing of planted trees. *Ecological Modelling*, 265, P124-135.
- 〔図書〕(計 1件)
- Kumagai, T. (2016) Observation and modelling of net ecosystem carbon exchange over canopy. (In: *Canopy Photosynthesis: From Basics to Applications. Advances in Photosynthesis and Respiration*, Eds. Hikosaka, K., Anten, N. and Niinemets, U., Springer-Verlag, Dordrecht, Germany). P269-287.
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
熊谷朝臣 (Tomo'omi Kumagai)  
名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授  
研究者番号：50304770
  - (2) 研究分担者  
藤波初木 (Hatsuki Fujinami)  
名古屋大学・宇宙地球環境研究所・講師  
研究者番号：60402559