

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25850104

研究課題名(和文) 熱帯林における土壌動物に起因する土壌呼吸の変動パターンを評価・予測するモデルの構築

研究課題名(英文) Analysis of biological factors affecting tropical-forest soil respiration

## 研究代表者

山田 明德 (YAMADA, Akinori)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・准教授

研究者番号：40378774

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯林の土壌から放出される二酸化炭素(土壌呼吸)は地球規模の炭素収支の重要な構成要素であるが、土壌呼吸に変動をもたらす環境要因、特に生物要因の理解が遅れている。本研究では、熱帯林に高密度に生息するシロアリとアリの巣に着目し、土壌呼吸の変動との関係について明らかにすることを目的とした。タイ東北部の熱帯林で調査を行った結果、キノコシロアリの大型巣では、巣の周囲で局所的に非常に大きな変動をもたらしていることがわかった。また、主要なシロアリとアリ種について解析したところ、熱帯林の土壌呼吸にこれまで考えられていたよりも遙かに大きい変動をもたらしていることも明らかになってきた。

研究成果の概要(英文)：Soil respiration from tropical forest floor is a most important component of carbon budget on the earth, whereas biological factors affecting spatial and temporal variation of the soil respiration have been still poorly understood. Here, effects of nests of the superabundant tropical-soil animals, namely termites and ants, on the soil respiration were investigated in a Thai tropical forest. Large nests of fungus-growing termites were shown to cause a local and strong variation around the nests. In addition, an analysis of major and dominant species of termites and ants indicated that their impact on soil respiration is much larger than that have been expected in previous studies.

研究分野：森林生態学

キーワード：熱帯林 土壌呼吸 シロアリ アリ

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化は確実に進行しており、人類にとって深刻な環境問題となっている。地球温暖化の解明と将来予測、緩和と対策に向けた政策策定のためには、二酸化炭素を中心とした炭素循環プロセスを詳細に把握し、地球規模での放出量と吸収量を正確に推定していくことが喫緊の課題である。

熱帯林は陸域生態系全体の NPP の 30% を担う炭素循環の中心地であるが、多様で豊富な生物群集から成る複雑な生態系であるために、炭素循環に関する十分な生態調査が行われていない。その一方で、リモートセンシングなどの広域調査によって、熱帯林が生態系呼吸（生態系全体の二酸化炭素放出）を上回る光合成をする重要な二酸化炭素吸収源であることが示されてきた。しかし、生態系呼吸の 20-90% を占める土壌呼吸の変動メカニズムは十分理解されておらず、熱帯林の二酸化炭素収支を正確に予測していくためには、地表での地道な生態調査によって土壌呼吸の変動要因、特に広域調査では扱うことが難しい生物要因を解明することが重要である。

土壌呼吸を構成する根と土壌微生物、土壌動物は、土壌呼吸全体にそれぞれ異なった変動パターンをもたらす生物要因と考えられるので、総体としてだけでなく個別に研究を行う必要がある。特に土壌動物の呼吸に関して、生態系レベルで重要性を検証した研究例は少ないが、申請者らの研究によって、シロアリだけでも熱帯林の土壌呼吸量の<sup>~</sup>5% に相当する呼吸をしていることが世界に先駆けて明らかにされている (Yamada *et al.* 2005, 2007)。これらの成果は最近海外で出版されている生態学の教科書でも度々引用されており、熱帯林の全動物個体数のそれぞれ 40% (全現存量の 15%) を占めると言われるシロアリとアリの重要性が再認識されるようになってきた。実際、動物の単位重量当たりの呼吸量は一般に個体重の軽い生物種ほど多い傾向にあるので、熱帯林における土壌動物由来の呼吸の大半はシロアリとアリによるものと考えられる。しかし、シロアリやアリが土壌呼吸にどのような変動をもたらしているかは、全く理解されていない。

## 2. 研究の目的

(1) シロアリとアリの巣が周辺土壌呼吸に及ぼす影響の解明：シロアリとアリの分布様式と巣の構造、特に地下道と出入口の存在を考慮に入れた方法で土壌呼吸の測定を行い、個々の巣が土壌呼吸に及ぼす影響を明らかにする。

(2) 森林全体の土壌呼吸に及ぼす影響の定量的評価：シロアリとアリの分布と巣密度に関するデータをもとに、森林全体の土壌呼吸に及ぼす影響を定量的に評価する。

(3) 土壌動物に起因する土壌呼吸の変動パ

ターンを評価・予測するためのモデル構築：1, 2 の成果に加え、アフリカ、東南アジア、南米など各地の熱帯林で蓄積されているデータを利用し、土壌動物に起因する土壌呼吸の変動パターンを広域的かつ総合的に評価・予測するためのモデルを構築する。

## 3. 研究の方法

### (1) 現地調査

タイ・サケラート環境研究所の乾燥常緑樹林を調査地とした。シロアリやアリでは、優占種を調査することで群集全体をほぼ網羅することができることがわかっているので、6 種の優占シロアリ種 (*Macrotermes carbonarius*, *Microcerotermes crassus*, *Globitermes sulphureus*, *Dicuspидitermes makhamensis*, *Termes comis*, *Termes propinquus*)、13 種の土壌性優占アリ種を対象としての巣からの土壌呼吸量を調査した。

### (2) 研究方法

*M. carbonarius* は、他の 5 種のシロアリとは異なり、主に粘土質土壌から成る大型の地上巣を作る。そこで、本種では、巣を中心に 10m x 10m のプロットを設定し、プロットをさらに 1m x 1m x 100 箇所のサブプロットに分け、各サブプロットで雨季と乾季に土壌呼吸の測定を行った。土壌呼吸の測定後、測定地点で塚からの地下道の有無と直径を調査した。また、森林全体の土壌呼吸量の平均値を得るために、シロアリとアリの巣の分布を考慮せずに調査地の森林内に 100m x 100m の 1ha プロットを 6 箇所設置し、各プロットを 10m x 10m x 100 箇所のサブプロットに分け、各サブプロットの中心で雨季と乾季に土壌呼吸量の測定を行った。土壌呼吸量の測定には PP Systems 社製 EGM-4 測定装置と SRC-1 土壌呼吸チャンバー、独自に開発した地上巣専用チャンバーを用いた。

*Microcerotermes crassus*, *Globitermes sulphureus*, *Dicuspидitermes makhamensis*, *Termes comis*, *Termes propinquus* の 5 種は主に土壌やカートンから成る小型から中型の地上巣を作る。そこで、これらの種巢については、巣のサイズに応じて、専用チャンバーを用いて周辺土壌を含む巣全体からの土壌呼吸量 (二酸化炭素放出量) を測定するか、一般的なチャンバーを用いて巣表面や周囲からの土壌呼吸量を測定するかのどちらかを行った。また、地上巣の影響を受けていないと考えられる土壌呼吸量を得るため、各巣について巣からある程度離れた場所でも土壌呼吸量の測定を行った。

土壌性アリについては、一般的なチャンバーを用いて地表の巣口を覆うようにして土壌呼吸量を測定した (Hasin *et al.* 2014)。また、巣の影響を受けていないと考えられる土壌呼吸量を得るため、各巣について巣からある程度離れた場所でも土壌呼吸量の測定を行った。

#### 4. 研究成果

(1) シロアリとアリの巣が周辺土壌呼吸に及ぼす影響の解明するために、シロアリについては巣の構造毎に方法を分けて土壌呼吸量を測定した。上述したように、*M. carbonarius* は大型の地上巣を作り、巣から周辺へ伸びる地下道ネットワークを発達させ、採餌を行うことが良く知られている。巣の外壁は煉瓦のような粘土質土壌で構成されているためか、巣表面からの二酸化炭素放出はほとんど検出されないことがわかった。一方、巣の周囲では土壌呼吸量が非常に高い場所が高頻度に存在することが明らかになった (図 1 参照)。さらに、土壌呼吸量が高い箇所の下には多くの場合、巣から伸びる地下道が走っていることもわかった (図 2 参照)。これは、巣表面から二酸化炭素を放出しない *M. carbonarius* の巣では、巣から地下道へ二酸化炭素が拡散して大気中へ放出されることで、巣の周囲の土壌呼吸量を局所的かつ大きく変動させていること強く示唆する結果である。さらに、*M. carbonarius* はキノコシロアリの一種であり、巣内には大量の菌園が蓄積されているため、他のシロアリやアリなどと比較してより大量の二酸化炭素が巣内で生産されていることも、影響力を強くする要因になっていると考えられる。

測定を行った 5 個の *M. carbonarius* 巣周辺の土壌呼吸量と、6 箇所の 1ha プロットによる森林土壌呼吸量とを比較すると、雨季には全体として *M. carbonarius* 巣周辺の土壌呼吸量が大きくなっているのに対し、乾季では逆の結果が得られている。これは、土壌呼吸量が非常に高い箇所の出現頻度の問題ではなく、乾季では土壌呼吸量がかんまり小さい箇所が多く出現することによる影響であると思われる。この一因として、*M. carbonarius* の巣からの粘土質土壌の流出が考えられる。流出した粘土質土壌は土壌表面に蓄積し、乾季になると乾燥して土壌表面を覆ってしまうため、土壌からの二酸化炭素放出が抑えられてしまうことが想像される。これらの結果は、巣の影響は年間を通して同じではなく、季節変化があることを示すものである。

*M. crassus*, *G. sulphureus*, *D. makhamensis*, *T. comis*, *T. propinquus* の 5 種では、*M. crassus*, *G. sulphureus* の 2 種で巣および周辺で顕著な土壌呼吸量の増加が見られた (表 1, 2 参照)。一方で、他の 3 種については土壌呼吸へほとんど影響をしていないことが推測される (表 3, 4, 5 参照)。*M. crassus*, *G. sulphureus* は材食性で、巣もカートンもしくはカートンと土壌の混合物で構成されている。一方、*D. makhamensis*, *T. comis*, *T. propinquus* の 3 種は主に土を食べるシロアリで、巣も土壌で構成されてい

る。こうした食性の違いや巣材の違いが土壌呼吸へ影響しているものと考えられる。

土壌性のアリについては、種によって土壌呼吸への影響が大きく異なる結果が得られている (Hasin *et al.* 2014)。種間の違いは、巣内の個体数や、巣の構造が反映しているものだと考えられた (Hasin *et al.* 2014)。

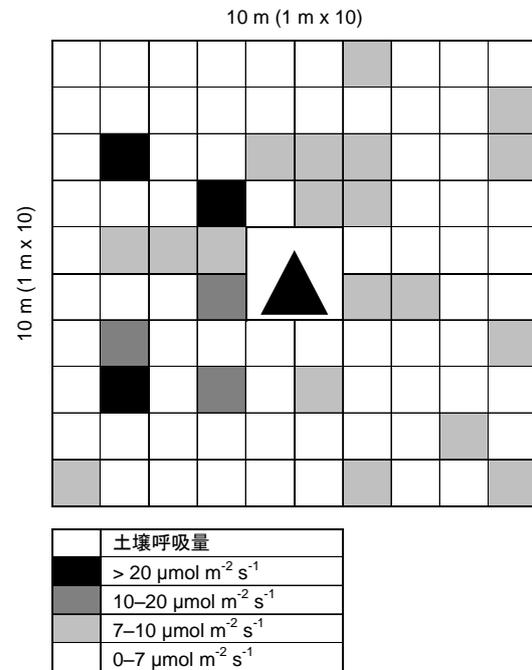


図 1. *Macrotermes carbonarius* の塚周辺の土壌呼吸量分布の一例

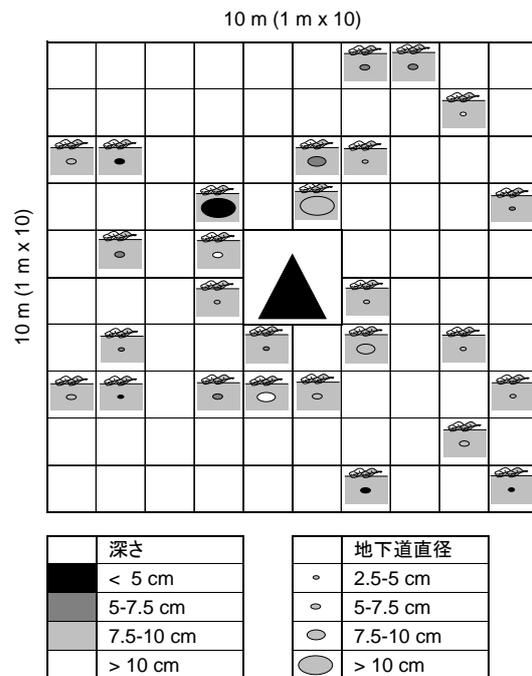


図 2. *Macrotermes carbonarius* の塚周辺の地下道分布 (中心の巣につながる地下道) の一例 (図 1 と同一巣)

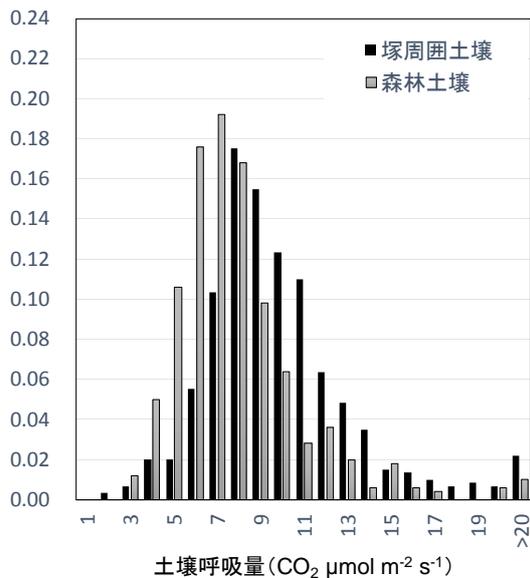


図 3. 雨季における *Macrotermes carbonarius* の塚周辺土壌と森林土壌の土壌呼吸量の相対頻度

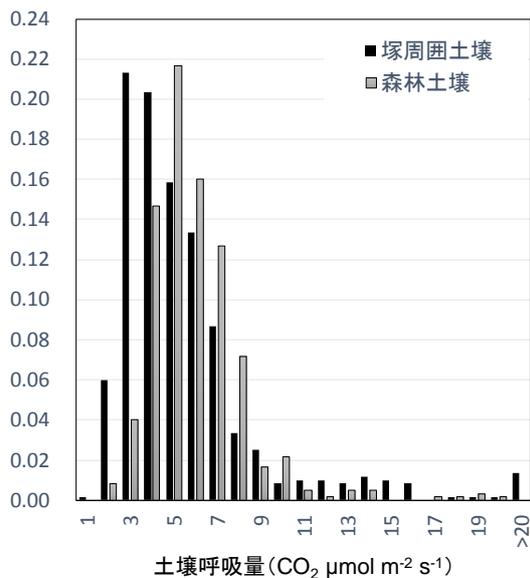


図 4. 乾季における *Macrotermes carbonarius* の塚周辺土壌と森林土壌の土壌呼吸量の相対頻度

表 1. *Microcerotermes crassus* の巣およびその周囲からの土壌呼吸量 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

	雨季		乾季	
	巣および周囲	森林土壌	巣および周囲	森林土壌
巣 #1	48.30	6.62	37.95	1.32
巣 #2	29.97	2.87	25.83	0.39
巣 #3	22.43	4.61	25.39	1.47
巣 #4	22.15	4.92	22.65	2.05
巣 #5	13.43	3.60	20.35	1.08
平均	27.26±13.14	4.52±1.43	26.44±6.81	1.26±0.61

表 2. *Globitermes sulphureus* の巣およびその周囲からの土壌呼吸量 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

	雨季		乾季	
	巣および周囲	森林土壌	巣および周囲	森林土壌
巣 #1	35.26	5.92	28.19	2.97
巣 #2	48.75	9.25	40.91	2.93
巣 #3	45.03	7.81	19.47	2.46
巣 #4	39.84	7.22	20.45	2.31
巣 #5	45.88	5.49	10.40	1.77
平均	42.95±5.37	7.14±1.51	23.88±11.42	2.49±0.49

表 3. *Dicuspiditermes makhamensis* の巣およびその周囲からの土壌呼吸量 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

	雨季		乾季	
	巣および周囲	森林土壌	巣および周囲	森林土壌
巣 #1	9.12	7.93	6.90	1.99
巣 #2	8.16	6.49	11.69	5.63
巣 #3	6.57	4.02	3.44	1.73
巣 #4	9.96	9.06	9.76	4.07
巣 #5	9.15	5.84	3.49	1.21
平均	8.59±1.3	6.67±1.94	7.06±3.69	2.93±1.86

表 4. *Termes comis* の巣およびその周囲からの土壌呼吸量 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

	雨季		乾季	
	巣および周囲	森林土壌	巣および周囲	森林土壌
巣 #1	7.08	13.61	4.49	2.64
巣 #2	9.99	12.01	3.86	3.24
巣 #3	7.43	7.35	3.83	2.58
巣 #4	7.00	7.56	4.25	0.91
巣 #5	6.27	6.28	3.72	3.18
平均	7.55±1.43	9.37±3.24	4.03±0.33	2.51±0.94

表 5. *Termes propinquus* の巣およびその周囲からの土壌呼吸量 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

	雨季		乾季	
	巣および周囲	森林土壌	巣および周囲	森林土壌
巣 #1	6.59	2.85	1.72	2.53
巣 #2	11.86	6.48	2.35	1.84
巣 #3	10.56	5.71	2.63	1.99
巣 #4	8.92	5.30	0.37	0.33
巣 #5	4.78	3.50	1.93	1.92
平均	8.54±2.88	4.77±1.53	1.8±0.88	1.72±0.82

(2) 森林全体の土壌呼吸に及ぼす影響の定量的評価については、これまで考えられていた以上に大きな影響があることが解析により得られつつあり、これまでに調査されている巣密度 (Yamada *et al.* 2003) などを考慮した試算結果では、森林土壌呼吸量の 20%程度の増減に関わっていることが示されている。今後解析を進め、学術雑誌などで公表予定である。

(3) 土壌動物に起因する土壌呼吸の変動パターンを評価・予測するためのモデル構築についても、本研究で得られた成果から巣の構

造や材質の影響が明確になっており、既存の研究と合わせて、構築が進んでいる。

<引用文献>

- ① Yamada, A., Inoue, T., Wiwatwitaya, D., Ohkuma, M., Kudo, T., Abe, T., Sugimoto, A., Carbon mineralization by termites in tropical forests, with emphasis on fungus-combs, *Ecological Research*, 20, 2005, 453-460
- ② Yamada, A., Inoue, T., Wiwatwitaya, D. and Ohkuma, M., A new concept of the feeding group composition of termites in tropical ecosystems: carbon source competitions among fungus-growing termites, soil-feeding termites, litter-layer microbes, and fire, *Sociobiology*, 50, 2007, 135-153
- ③ Yamada, A., Inoue, T., Sugimoto, A., Takematsu, Y., Kumai, T., Hyodo, F., Fujita, A., Tayasu, I., Klangkaew, C., Kirtibutr, N., Kudo, T. and Abe, T., Abundance and biomass of termites (Insecta: Isoptera) in dead wood in a dry evergreen forest of Thailand, *Sociobiology*, 42, 2003, 569-585

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

- ① Hasin, S., Ohashi, M., Yamada, A., Hashimoto, Y., Tasen, W., Kume, T., Yamanem, S., CO<sub>2</sub> efflux from subterranean nests of ant communities in a seasonal tropical forest, Thailand, *Ecology and Evolution*, 4, 2014, 3929-3939、査読有り、DOI: 10.1002/ece3.1255

[学会発表] (計9件)

- ① 大橋瑞江、久米朋宣、橋本佳明、山田明德、吉藤奈津子、Sasitorn Hasin、山根正気、熱帯林の土壌呼吸に対するアリ類の寄与、第62回日本生態学会大会、2015年3月18日～22日、鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)
- ② 山田明德、樋口真士、Warin Boonriam、木原久美子、本郷裕一、シロアリによる木材劣化の時空間パターン ～熱帯林における倒木の分解とシロアリ相との関係から～、第29回日本木材保存協会年次大会、2013年5月28日、メルパルク東京(東京都・港区)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 明德 (YAMADA, Akinori)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・准教授

研究者番号: 40378774