

令和元年6月6日現在

機関番号：15301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14811

研究課題名(和文) 熱帯雨林の食物網の安定性: 昆虫標本の放射性炭素・アミノ酸同位体分析による解明

研究課題名(英文) Evaluation of stability of a tropical rainforest food web through isotope analyses

研究代表者

兵藤 不二夫 (Fujio, Hyodo)

岡山大学・異分野融合先端研究コア・准教授

研究者番号：70435535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯雨林は地球上で最も生物多様性の高い生態系の一つであり、その食物網は安定であると古くから考えられてきたが、その種数の多さや住み場所の多様性など調査の困難さから、実証的な研究はほとんどなかった。そこで、炭素・窒素安定同位体、放射性炭素同位体、アミノ酸窒素同位体を用いて、熱帯雨林の代表的な動物であるハチ目の食性を解析した。その結果、過去7年間に明瞭な食性や食物網構造の変化は見られず、従来指摘されている熱帯雨林の食物網の安定性を支持した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱帯雨林は地球上で最も生物多様性の高い生態系である。同時に、急激に生物多様性が失われており、その保全や復元が求められている生態系でもある。これら保全や復元には、そこに生息している生物の生態、特に何を食べているのかといった食性に関する情報が必要である。本研究では野外観察だけでは得ることが難しいこれらの情報を同位体手法を用いて推定し、その安定性を確認することができた。これらの情報は今後の生態系管理や復元の基礎となるものと考えられる。また、本研究は多くの博物館に保存されている昆虫標本が生態系の現状を調べる際の試料として極めて重要であることを意味している。

研究成果の概要(英文)：Tropical rainforests are one of the ecosystems that have highest biodiversity, and the food webs have long been considered to be stable. However, the stability of the tropical rainforest food webs is poorly investigated because of the technical difficulty. In this study, we applied stable carbon and nitrogen isotopes of bulk samples, nitrogen isotopes of amino acids, and radiocarbon to investigate the feeding habits of Hymenopterans sampled in a tropical rainforest. Our results showed that there was no clear difference in their feeding habits during seven years, supporting the view on the stability of tropical rainforest food webs.

研究分野：生態学

キーワード：食物網 同位体 熱帯雨林

1. 研究開始当初の背景

熱帯雨林は地球上で最も生物多様性の高い生態系の一つであり、その食物網は安定であると古くから考えられてきた(MacArthur 1955; Elton 1958)。食物網の構造に関する実証的な研究の多くは、対象とする生物種が比較的採集しやすい湖沼や海洋などの水域生態系を対象にしたものである。一方、陸上食物網は、種数の多さや住み場所の多様性など調査の困難さから、その安定性についての実証的な研究はほとんどない。さらにその安定性を実証するのは長期の観察が必要であるため困難であった。

近年、食物網解析に炭素窒素同位体を用いる研究が飛躍的に増えている。さらに最近ではアミノ酸の窒素同位体によって動物の栄養段階を正しく評価する手法が開発されている(Chikaraishi et al. 2014)。また、本研究の代表者らは新しい手法として放射性炭素を用いて食物網の時間軸の推定を行っている。その結果、熱帯雨林の多くの動物が腐食連鎖に依存することがわかってきた(Hyodo et al. 2006; Hyodo et al. 2015)。

2. 研究の目的

そこで本研究では、過去に熱帯雨林で採取された昆虫標本のバルク(試料全体)の炭素窒素同位体比、アミノ酸窒素同位体の測定、放射性炭素同位体の分析を行い、対象種の食性と食物網の安定性を検証することを目的とした。対象として、熱帯地域で現存量が大きく、花蜜食から捕食性まで多様な食性を持つハチ目の昆虫を用いた。

3. 研究の方法

マレーシア、サラワク州のランビルヒルズ国立公園において1993年から2000年にかけて採集された昆虫標本のうち、ハチ目のベッコウバチ2種、ミツバチ2種、ハナバチ1種の後脚を分析試料として用いた。これら試料をスズカプセルに秤量した後、バルク炭素・窒素同位体分析を行った。その同位体比の測定は元素分析計(Flash2000, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)に接続された連続フロー型同位体比質量分析計(Delta V Advantage, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)を用いて行った。炭素窒素同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ )は以下の式で表される。

$$\delta X = (R_{\text{試料}}/R_{\text{標準物質}} - 1) \times 1000 \text{ (‰)}$$

Xは対象とする同位体元素、 $R_{\text{試料}}$ と $R_{\text{標準物質}}$ は試料と標準物質の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ あるいは $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 、標準物質は炭素の場合はPee Dee Belemnite、窒素の場合は大気中の窒素ガスである。また試料の一部について、先行研究Chikaraishi et al. (2007)の方法にしたがいピバロイル/イソプロピルエステル誘導体化した後、アミノ酸窒素同位体比を測定した。測定は燃焼炉と還元炉を介してガスクロマトグラフに接続されている同位体比質量分析計(ガスクロマトグラフ/燃焼/同位体比質量分析計)(Delta V Advantage, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)を用いて行った。各生物の栄養段階(TL)を次の式に従って栄養段階を求めた(図1)(Chikaraishi et al. 2014)。

$$\text{TL} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}} + 8.4)/7.6 + 1$$

ここで $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}}$ と $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ はグルタミン酸とフェニルアラニンの窒素同位体比である。

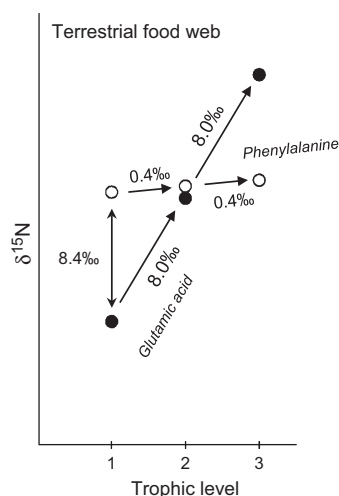


図1 栄養段階とグルタミン酸及びフェニルアラニンの窒素同位体比の関係(Chikaraishi et al. 2014)

また一部の試料について、放射性炭素同位体( $\Delta^{14}\text{C}$ )の分析を行った。封管法によって試料中の二酸化炭素を精製、分取したのち、鉄粉の存在下で水素と反応させてグラファイトを精製した。このグラファイトを外注分析によってその $\Delta^{14}\text{C}$ を求めた。大気中の二酸化炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は以下の図のように冷戦期の大気圏核実験の影響で1950年以降上昇した。しかし、

1963年の大気圏核実験禁止条約の締結後、海洋や陸上生態系への取込、また化石燃料の由来の二酸化炭素の増加により急激に低下している(図2)。先行研究により、陸上生物の多くは作られてから10年以内の光合成産物を利用していることがわかっている(Hyodo et al. 2012)。従って、1963年以降の二酸化炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値と生物の $\Delta^{14}\text{C}$ 値を比較することで、その生物が何年前の光合成産物に依存しているか、その食物年齢(diet age)を推定することができる(Hyodo et al. 2006)。食物年齢は次の式で求めた(Hyodo et al. 2015)。

$$\text{食物年齢(年)} = (2074 - 16.7 \times \ln(\Delta^{14}\text{C})) - t$$

ここで $\Delta^{14}\text{C}$ は試料の $\Delta^{14}\text{C}$ 値、 $t$ は採集年である。

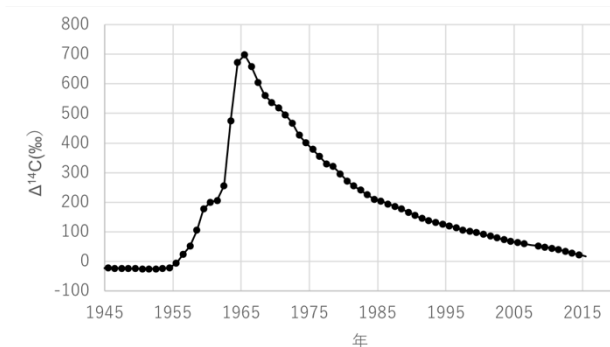


図2 大気二酸化炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値の経年変化(Graven et al. 2017)

#### 4. 研究成果

ベッコウバチ2種、ヤミスズメバチ1種、ミツバチ2種、ハナバチ1種の炭素窒素同位体比は先行研究で報告されている値と同様であった(Hyodo et al. 2011)。炭素同位体比は捕食性のベッコウバチで高く、ヤミスズメバチ、ミツバチ、ハナバチで低い傾向があった。窒素同位体比は捕食性のベッコウバチ2種、雑食生のヤミスズメバチ、花蜜食性のミツバチ、ハナバチで低い傾向を示した。さらに、これらの値に明瞭な経年変化はみられなかった。このことは7年間の採集期間中、これら昆虫の食性に大きな変化は見られなかったことを示唆している。

アミノ酸窒素同位体分析の結果も同様に、ベッコウバチで3以上の高い栄養段階を示し、ミツバチ、ハナバチで2程度の低い栄養段階を示した。これらの栄養段階には明瞭な経年変化がなく、食性や食物網構造に大きな変化がなかったことを示唆している。

さらに、放射性炭素同位体分析から推定した食物年齢の結果も、先行研究と同様(Hyodo et al. 2015)、ベッコウバチ2種が古い年齢を示し、ミツバチ、ハナバチで最も若くほぼ0年を示した。これらの食物年齢も炭素・窒素同位体比と同様に明瞭な経年変化を示さず、その食性に大きな変化がなかったことを示唆している。

以上の結果は、1993年から2000年の間には、食性や食物網構造には大きな変化はなく、従来指摘されているような熱帯雨林生態系の安定性を示していると考えられる。今後、これらの結果を論文としてまとめながら、さらに同種個体の反復や対象とする生物種を増やすなどして、本研究で得られた成果を検証していくことを予定している。本研究の成果は、標本試料を用いた陸域の過去環境を復元する手法の開発につながることを期待される。

#### <引用文献>

Chikaraishi Y, Kashiyama Y, Ogawa NO, Kitazato H, Ohkouchi N (2007) Metabolic control of nitrogen isotope composition of amino acids in macroalgae and gastropods: implications for aquatic food web studies. *Marine Ecology Progress Series* 342:85-90

Chikaraishi Y, Steffan SA, Ogawa NO, Ishikawa NF, Sasaki Y, Tsuchiya M, Ohkouchi N (2014) High-resolution food webs based on nitrogen isotopic composition of amino acids. *Ecol Evol* 4:2423-2449

Elton CS (1958) *The ecology of invasions by animals and plants*. Methuen, London,

Graven H, Allison CE, Etheridge DM, Hammer S, Keeling RF, Levin I, Meijer HAJ, Rubino M, Tans PP, Trudinger CM, Vaughn BH, White JWC (2017) Compiled records of carbon isotopes in atmospheric  $\text{CO}_2$  for historical simulations in CMIP6. *Geoscientific Model Development* 10:4405-4417

- Hyodo F, Matsumoto T, Takematsu Y, Itioka T (2015) Dependence of diverse consumers on detritus in a tropical rain forest food web as revealed by radiocarbon analysis. *Funct Ecol* 29:423-429
- Hyodo F, Takematsu Y, Matsumoto T, Inui Y, Itioka T (2011) Feeding habits of Hymenoptera and Isoptera in a tropical rain forest as revealed by nitrogen and carbon isotope ratios. *Insect Soc* 58:417-426
- Hyodo F, Tayasu I, Wada E (2006) Estimation of the longevity of C in terrestrial detrital food webs using radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ ): how old are diets in termites? *Funct Ecol* 20:385-393
- Hyodo F, Uchida T, Kaneko N, Tayasu I (2012) Use of radiocarbon to estimate diet ages of earthworms across different climate regions. *Appl Soil Ecol* 62:178-183
- MacArthur R (1955) Fluctuations of Animal Populations and a Measure of Community Stability. *Ecology* 36:533-536

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 4件)

(1) Tanaka OH, Haraguchi T, Tayasu I and Hyodo F. (2019) Stable and radio-isotopic signatures reveal how the feeding habits of ants respond to natural secondary succession in a cool-temperate forest. *Insectes Sociaux* 66: 36-47. 査読有り

(2) Hyodo F., Yamasaki T, Iwasa T, Itioka T, Endo T and Hashimoto Y. (2018) Stable isotope analysis reveals the importance of plant-based diets for tropical ant-mimicking spiders. *Entomological Science* 21: 461-468. 査読有り

(3) 長谷川元洋、藤井佐織、金田哲、池田紘士、菱拓雄、兵藤不二夫、小林真 (2017) 土壌動物をめぐる生態学的研究の最近の進歩 日本生態学会 62: 95-118. 査読有り

(4) Saeki I, Niwa S., Osada N., Hyodo F., Ohta T., Oishi Y. and Hiura T. (2017) Adaptive significance of arboreality: field evidence from a tree-climbing land snail. *Animal Behaviour* 127: 53-66. 査読有り

〔学会発表〕 (計 4件)

(1) 兵藤不二夫、山崎健史、岩浅拓也、市岡孝朗、遠藤知二、橋本佳明「安定同位体が明らかにする熱帯のアリグモにおける植物性食物の重要性」日本生態学会第66回大会 2019年

(2) 田中洋、原口岳、陀安一郎、兵藤不二夫 「冷温帯林の二次遷移に伴うアリ群集の食性の変化」日本土壌動物学会第41回大会 2018年

(3) 兵藤不二夫、田中洋、原口岳、館野隆之輔、廣部宗、陀安一郎「冷温帯林の二次遷移に伴う地上部-地下部の生態特性とアリ群集の食性の変化」日本生態学会第65回大会 2018年

(4) 兵藤不二夫、岸本圭子、松岡真如、田中洋、橋本佳明、石井励一郎、市岡孝朗「周辺の原生林が熱帯雨林の二次林のアリの食性に及ぼす影響：同位体による解明」日本生態学会第64回大会 2017年

〔図書〕 (計 1件)

兵藤不二夫 (2018) 土壤生態系と地上生態系のリンク 「土壤生態学」 (金子信博編) 朝倉書店  
pp. 116-130.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等 なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：陀安 一郎  
ローマ字氏名：Ichiro Tayasu  
所属研究機関名：総合地球環境学研究所  
部局名：研究基盤国際センター  
職名：教授  
研究者番号 (8桁)：80353449

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：市岡 孝朗  
ローマ字氏名：Takao Itioka

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。