

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24510020

研究課題名(和文)変動気候下での感染症媒介生物の生息域評価

研究課題名(英文)Spatio-Temporal distribution of infection-causing vectors under future changing climate

研究代表者

太田 俊二(Ohta, Shunji)

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号：10288045

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：マラリアを媒介するハマダラカの時空間分布を推定するため、一般気象要素を入力値とする、生理生態学-気候学的結合モデルを開発した。次に、アジア地域でもっとも多くマラリア罹患者を抱えるインドにおいて、モデルによる潜在的な媒介蚊の分布とマラリア罹患者の関係を調べた。(1)マラリア罹患者は媒介蚊の年間世代数が増加すればするほど指数関数的に増加していた。(2)報告されたマラリアの季節的なピークはシミュレーションされた媒介蚊の出現期間とよく対応していた。(3)しかしながら、集約的な農業が行なわれている地域では再現性が低かったため、灌漑水をモデルに組み込んだところ、媒介蚊の活動期を正確に表現できた。

研究成果の概要(英文)：First, a coupled model with ecophysiological and climatological factors was developed to estimate the spatiotemporal distribution of the species of dominant malaria vectors (*Anopheles* spp.) in monsoon Asia, using simple climate data. Then, we examined how the potential distribution obtained from the model could explain trends in malaria incidence observed in India, which has the highest number of confirmed cases of malaria in Asia. As a result, it was found that malaria incidence tended to increase exponentially as vector generation number increased. In addition, the observed seasonal peak of malaria incidences corresponded closely to the simulated appearance period of vector species, except for intensively irrigated areas that experience anthropogenic impacts on hydrologic conditions. Therefore, a new, modified model that includes irrigation as a factor was developed to predict the active growing period of mosquitoes more precisely than the base.

研究分野：環境科学

キーワード：環境変動 生物・環境モデル 地球温暖化 生態系影響評価 健康影響評価 熱収支気候学

1. 研究開始当初の背景

Gething et al. (2010) は、1900 年頃から 2007 年までの間に気温は上昇したものの、経済発展や疾病対策によって世界のマラリア罹患者はむしろ減少したと報告している。反対に、マラリアの将来気候下での発生頻度は、主として温暖化によって高くなるという研究例 (Martens et al., 1999) もある。また、気候と感染症には強い相関があるという報告 (Ebi et al., 2005) もあり、将来感染症リスクは高まるのか下がるのかさえ混乱している状況にある。

上記の研究例は住民の生活環境、人口移動、防疫政策を中心としたモデルによるものであり、その基盤にある潜在的なマラリア媒介蚊の生息域評価を考慮していない。加えて、将来気候下での媒介蚊の分布の変化はそのメカニズムが不明なために、無視せざるをえない (van Lieshout et al., 2004)。しかしながら、将来予測される大規模気候変動は森林生態系の生産や農業生産ばかりではなく、病害虫や微生物の活性にも大きな影響を及ぼすことが予想され、それらの現在の分布域は近い将来に変わっていく可能性が高い。とくに、昆虫は移動が可能なることからその分布の変化は植物よりも急速に進むだろう。

ゆえに、将来気候下での感染症のリスク評価研究を推進するためには、その基盤、基礎情報となる媒介生物の挙動を生態学的に明らかにしなければならない。とくに、生息域の変化や発生期間は重要である。

文献

- Ebi K. L. et al. (2005) *Climatic Change* **73**: 375-393.
 Gething P. W. et al. (2010) *Nature* **465**: 342-345.
 Martens P. et al. (1999) *Global Environmental Change* **9**: S89-S107.
 van Lieshout M. et al. (2004) *Global Environmental Change* **14**: 87-99.

2. 研究の目的

本研究代表者が平成 21~23 年度に実施してきた基盤研究 (C、課題番号 2151002) によって、マラリア媒介蚊であるハマダラカ (*Anopheles* spp.) の生息域を、水温をはじめとする気候条件から推定可能になった。また、将来気候下のモンスーンアジア地域の生息域の変化を年間最大可能な世代数の変化として表現した。

しかしながら、このモデルは個体数の絶対的な変化を記述するまでには至っておらず、加えて灌漑システムや土地利用といった人間活動を考慮に入れていない「自然界」のモデルであるため、都市域の現実の媒介生物の挙動を定量的に表すことができない。それゆえ、本研究計画では平成 23 年度までの基盤研究 (C) での成果を踏まえ、上記欠点を克服し、モデルを発展させていくことから始める。とくに、人口が急増し、感染症リス

クが将来高まることが予想されるアジア地域のマラリア媒介蚊の地理的な分布を描くことを最初の目標とする。

次に、本研究課題では以上の点を踏まえて以下の 3 点を大きな目標とする。(1) 人間活動を考慮に入れたモデルに発展させる (現実的なモデル)。(2) 局地的な気候値を用いた生息域評価が可能になる (マルチスケールモデル)。(3) 将来気候下の感染症媒介生物の生息域を予測する (モデルの応用)。

3. 研究の方法

(1) ハマダラカの生活史モデルのマクロスケール (モンスーンアジア域) への適用

一般気象要素のみを入力値として、ハマダラカのアジア域での生息域評価を試みた。第一に代表的な 10 点を選び、その地点での観測されたハマダラカの季節的消長の実測データを開発したモデルがどの程度説明できるかを調べた。モンスーンアジア域には熱帯から亜熱帯、暖温帯、冷温帯、亜寒帯、乾燥域といったさまざまな気候帯が存在し、それらを代表する地点から検証サイトを選んだ。モデルの確からしさを検証したのち、次に、モンスーンアジア域を緯度経度 30 分の格子に区切った汎用的な気候データを用いてハマダラカの生息域分布図を描いた。

このようにして得られたハマダラカの季節的な消長や空間的な分布がインドのマラリア罹患患者数とどのような関係にあるのかを調べた。

(2) ミクロスケールへの適用および検証—マルチスケールモデルへの発展

本研究課題はもともとマクロスケールの生息域を中心に研究を進めてきたが、モデルの構造がメカニスティックであるため、本モデルの構造をそのままに、ミクロスケールの気象要素を用いて局地的な生息域の評価を行った。次の段階では過去の多くの研究事例 (村落レベルの実測データ) を用いて、ミクロスケールでの評価結果の検証を過去の実測研究結果と照らして行い、モデルの信頼性を高めた。

(3) 都市域やミクロスケールでの予測のための土地利用形態変化の本モデルへの組み込み—現実的なモデルへの展開

人間活動の増大ともなう土地利用形態の変化 (森林伐採や灌漑) がハマダラカの生息域に強い影響を与えており、とくに乾燥亜熱帯域を中心に同様の報告が目立ってきている。平成 23 年度までの基盤研究 (C) による自然界をターゲットにした現行モデルの生息域推定結果のうち、現実とあわない地域 (多くは気候学的に乾燥した都市域) が一部に存在している。そこで、マラリア罹患患者の多い都市域 (人口の集中するインドの一部)

を例にとり、灌漑システムを導入した場合としない場合の水収支を計算して、ハマダラカの季節的消長を再現した。ハマダラカの発生時期や発生数の観測データを、灌漑システムの有無という違いによって説明できるかを調べた。以上のことから、ハマダラカの生息に灌漑システムという人間活動が強く影響していることを定量的に明らかにした。

(4) 熱収支を中心とした局地気象の観測—その他の感染症媒介生物への本モデルの応用のための準備

研究課題を遂行中の 2014 年には東京都内でも Dengue 熱患者が約 70 年ぶりに現れた。マラリアを媒介するハマダラカで進めてきた本モデルの構造を活かしながら、Dengue 熱や西ナイル熱を媒介するイエカやシマカに応用可能なようにモデルの一部を修正する必要がある。単なるパラメータ値の変更だけでなく、必要に応じてハマダラカモデルにはないパラメータを追加しなければならない。とくに、森林内で生息するシマカなどの挙動を明らかにするには、気象官署のデータと局地的な気象データの違いを考慮する必要がある。そこで、当初の目的に加えて、熱収支観測を柱に都市郊外の気象観測を行い、感染症媒介生物の微気象的な生息要因を探る基礎データを収集した。また、本モデルの基礎にある熱収支・水収支モデルの洗練化も行った。

(5) 個体群動態モデルの開発と将来気候データの整備

本研究課題で開発した感染症媒介生物の将来予測のために必要な気候データを適切な「形」に加工しなければならない。とくに、時間解像度（日量）の高い気候データを得られる地域を増やし、データの蓄積を行った。これらデータの形式にあわせ、気候データを関数とする個体群動態モデルの開発を進めた。

4. 研究成果

(1) マクロスケールでのハマダラカの生息域評価

媒介生物の生活史やその生息域の微気象環境に着目し、一般気象要素（気温、降水量、日射量、水蒸気圧、風速）のデータから任意地点の熱・水収支（水温と土壌水分量）を日単位で求め、媒介生物の年間最大世代数を評価するプロセスベースモデルを作成した。現在気候値を用いて 20 世紀後半の生息域を計算したところ、温帯から熱帯までといったさまざまな気候帯の 10 地点で観測されたハマダラカの季節的消長を本モデルは十分な精度で再現していることがわかった。さらに、モンスーンアジア域を対象としてその地理的な分布域を描くことにも成功し、マラリアを媒介する可能性がある地域と季節を広域

的に理解することが可能となり、将来の気候変化時のハマダラカの時空間的な分布を生態学的、気候学的に予測する道を開いた。

(2) インドのマラリア罹患患者数とハマダラカの年間発生最大世代数の関係

インドはアジア地域で最もマラリア罹患患者数が多い国であり、罹患患者数データが比較的容易に入手可能である。本モデルによって出力されたハマダラカの最大可能な年間発生世代数と州単位の罹患患者数の関係を調べたところ、非常に高い正の相関があることがわかった。ハマダラカの年間最大世代数が増えれば増えるほど、マラリア罹患患者数は指数関数的に増加した。加えて、地域単位のマラリア罹患患者数の年々変動はハマダラカの年間最大世代数の年々変動と同調していた。この研究によって、マクロ的なマラリア罹患患者数は媒介蚊であるハマダラカの最大可能な世代数によって説明でき、マラリア罹患リスク評価に本モデルが活用できる可能性を示唆している。

しかしながら、インド西部の半乾燥域においては上記のような関係が見られなかった。本モデルが想定している生息環境と異なる状況の存在も示唆された。

(3) 大規模灌漑システムを導入した地域のミクロスケール評価（マルチスケールモデル・現実的なモデルへの発展）

集約的な農業を展開しているインド西部の半乾燥域では、本モデルの予測よりもはるかに長期に渡ってハマダラカは生育可能であり、その分布域もモデルの予測とは大きく異なっていた（2を参照）。そこで、降水量のほかに人工的な水である灌漑水を投入する項を上記モデルに加えて再計算したところ、ハマダラカの発生日と終息日の観測値とモデルによる推定値は極めてよく一致した。このことは、ハマダラカの生息には大規模な灌漑水が強く影響していることを示唆しており、気候条件だけでその分布域や消長を説明できない地域があることを意味している。別の見方をすると、人間が生きていくために食料をつくることは、自然界では生きられないハマダラカの生息を助長し、反対に人間にマラリアの脅威をもたらしていると言える。インドの半乾燥域でのマラリア罹患患者は、自らの食料のための灌漑水の導入によって大幅に増えているという皮肉な結果となっている。

この研究は、30分グリッドといった大まかな気候値でしか評価してこなかった本モデルが、比較的小さな地域にも適用可能であり、高い精度でハマダラカの挙動を説明できることも同時に示している。

(4) 局地気象の簡易的な観測手法の開発と熱・水収支モデルの改良

日本において媒介蚊による感染症は将来

予測の世界で十分であるという計画であったが、本研究課題の遂行中に東京都内においてデング熱感染者が発生した。このことを受けて、マラリア以外の感染症媒介生物に本モデルを応用するための準備研究に着手した。まず、熱収支観測を柱に都市郊外の気象観測を行い、感染症媒介生物の微気象的な生息要因を探る基礎データを収集した。その結果、以下のような知見を得た。(1) マンションやビルなどの構造物からの距離に応じて気温は連続して変化していた。このような水平方向の気温変化は構造物からの輻射熱が原因である。(2) 無人遠隔操作が可能な簡易なドローンに温度センサーを自作し、林内や樹冠、池の上などを自由に航行しながら気温と湿度を観測した。通常の気象観測と同等の精度の結果が得られ、今後の研究においてこの手法を用いて都市近郊の各種媒介蚊の生息域の微気象を容易にモニタリングできる。本研究は関連学会誌に現在投稿中である。

また、本モデルの基礎にある熱収支・水収支モデルの洗練化も行った。本モデルの初期段階では、媒介蚊の生息環境の植物の成長は考慮せず、ある温度になると一定の葉量を持つものとして計算していた。これを、気象データを外部入力値として植物の成長を計算し、それに従って熱・水収支を再計算するような変更を試みた。時間解像度や計算ステップを1時間ごとにし、より現実に近い土壌水分量の計算を可能とした。現在のところ、亜寒帯から熱帯までの再現性は比較的高いものの、乾燥域においては不十分である。

(5) 将来気候値の整備と他の感染症媒介蚊生息域評価モデルへの拡張

本モデルで必要な気象データの時間解像度は「日量」である。しかしながら、多くの公開気象データは月単位であることが多く、とくに将来気候を予測した気候モデルの出力値が日単位で得られることはほとんどない。そこで、時間的なダウンスケールを実施した。ただし、降水の確率的な分布が不明な地点での統計的ダウンスケールによって現実的な降水パターンを再現することができなかった。そのため、適切な土壌水分量の再現が困難となり、媒介蚊の生息評価の将来予測の妥当性の検証は研究途上にある。

変動気候下の予測のための気候データは日本ではよく整備され、文部科学省の大型プログラムにおいても精力的に研究されている。本研究課題ではこれらの利用を考慮した日本を対象とした媒介蚊生息域評価モデルの調整(チューニング)を行った。とくに、日本脳炎やデング熱を媒介するイエカ、シマカを想定し、併せて世代数モデルから個体群動態モデルへのメジャーアップデートを行った。本研究課題中の成果発表は1件の学会発表のみであるが、新規科研費課題として引き続き開発を進めているところである。

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 3 件) すべて査読あり

1. Ohta S and Kaga T (2014) Effect of irrigation systems on temporal distribution of malaria vectors in semi-arid regions., *International Journal of Biometeorology* **58**: 349–359. doi: 10.1007/s00484-012-0630-y.
2. Kaga T and Ohta S (2012) Ecophysiological and climatological effects on distribution of vector species and malaria incidence in India., *International Journal of Environmental Research and Public Health* **9**: 4704–4714. doi: 10.3390/ijerph9124704
3. Ohta S and Kaga T (2012) Effect of climate on malarial vector distribution in Monsoon Asia: coupled model for Ecophysiological and Climatological Distribution of mosquito generations (ECD-mg)., *Climate Research* **53**: 77–88. doi: 10.3354/cr01087

[学会発表] (計 16 件)

1. 渥美和幸、太田俊二、植物生産モデルによる潜在生産力の将来予測、日本生態学会第 63 回大会 (2016 年 3 月 21~24 日)、仙台国際センター (宮城県仙台市)
2. 渥美和幸、太田俊二、気候資源にもとづく植物生長を考慮したモデルによる生産力評価、日本農業気象学会 2016 年全国大会 (2016 年 3 月 14~18 日)、岡山大学 (岡山県岡山市)
3. 渡邊江、福井眞、太田俊二、日本脳炎ウイルス媒介蚊の生育段階構造・垂直伝播を考慮した SIR モデル、個体群生態学会第 31 回大会 (2015 年 10 月 11~12 日)、滋賀県立大学 (滋賀県彦根市)
4. 渥美和幸、太田俊二、熱収支・水収支モデルをもとにした植物生産力の広域評価、農業環境工学関連 5 学会 2015 年合同大会 (2015 年 9 月 14 日~18 日)、岩手大学 (岩手県盛岡市)
5. 上野一喜、太田俊二、ドローンを用いた高所の気温観測、農業環境工学関連 5 学会 2015 年合同大会 (2015 年 9 月 14 日~18 日)、岩手大学 (岩手県盛岡市)
6. 上野一喜、太田俊二、遠隔操作機器による簡便な気温測定、日本ヒートア

- イランド学会第10回全国大会(2015年8月28日~30日), 日本工業大学(埼玉県宮代町)
7. 渥美和幸、太田俊二, 簡便な植物生長モデルによる実蒸発散量と生産力の推定, 日本農業気象学会2015年全国大会(2015年3月16~20日), 研究交流センター(茨城県つくば市)
 8. 上野一喜、太田俊二, 構造物からの距離と周辺気温の関係性, ヒートアイランド学会第9回全国大会(2014年7月26~27日), 佐賀大学(佐賀県佐賀市)
 9. Mimura N, Takewaka S, Ohta S, Kamei M, Enhancing local activities for climate change adaptation through nationwide research program in Japan., Third International Climate Change Adaption Conference - Adaptation Futures, (2014年5月12~16日), Fortaleza Ceare, Brazil
 10. 加我拓巳、太田俊二, 個体群動態モデルを用いたマラリア媒介蚊各種の時空間推移予測, 日本生態学会第61回大会(2014年3月16~13日), 広島国際会議場(広島県広島市)
 11. 加我拓巳、太田俊二, 気候と生理生態学的要素に基づく広域的なマラリア媒介蚊各種の時空間的分布の予測, 個体群生態学会第29回大会(2013年10月12~13日), 大阪府立大学(大阪府堺市)
 12. 末兼佳織、太田俊二、加我拓巳, 熱収支観測を用いた近接する二地点間の気温差の解明, 日本農業気象学会2013年全国大会(2013年3月26~28日), 石川県立大学(石川県野々市市)
 13. 加我拓巳、太田俊二、柏田百代, 一般気象要素のみを用いた新しいマラリア媒介蚊生育評価モデルの開発, 日本生態学会第60回全国大会(2013年3月4日~9日), 静岡県コンベンションアーツセンター(静岡県静岡市)
 14. 加我拓巳、太田俊二、柏田百代, 媒介蚊の生育状況に基づく新たなマラリアリスクの気候学的評価法, 日本気象学会第51回大会(2012年11月9~10日), 松本文化会館(長野県松本市)
 15. 加我拓巳、太田俊二、柏田百代, 世代数生育モデルを用いたマラリア感染症媒介蚊各種の広域的な分布の推定, 個体群生態学会第28回大会(2012年10月20~21日), 東邦大学(千葉県船橋市)
 16. 加我拓巳、太田俊二、柏田百代, 半乾燥地域の灌漑がマラリア媒介昆虫の生育に与える影響, 農業環境工学関連学会2012年合同大会(2012年9月13~16日), 宇都宮大学(栃木県宇都宮市)
- [図書] (計 2 件)
1. 太田俊二・武若聡、亀井雅敏(編著), 三村信男(監修)(2015)「気候変動適応策のデザイン」クロスメディア・マーケティング, 東京, 120pp.
 2. Mimura N, Takewaka S, Ohta S, and Kamei M, 2012, Community and capacity building: Building a scientific basis for climate change adaptation – the research program on climate change adaptation, p233–235. Climate ExChange, Edited by World Meteorological Organization. Tudor Rose, London.
- [その他]
- Proceedings:
1. Mimura N, Takewaka S, Ohta S, and Kamei M (2013) Building a scientific basis for climate change adaptation. Impacts World 2013, Proceedings of International Conference on Climate Change Effects, 1–6.
- ホームページ等:
<http://www.npp.human.waseda.ac.jp/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
太田俊二 (OHTA Shunji)
早稲田大学人間科学学術院・教授
研究者番号: 10288045
 - (2) 研究分担者
なし
 - (3) 連携研究者
なし