

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510022

研究課題名（和文） 水温の広域シミュレーションモデルを用いたハマダラカの生息域評価

研究課題名（英文） Spatio-Temporal distribution of *Anopheles* using the wide-area model for estimating water temperature

研究代表者

太田 俊二（OHTA SHUNJI）

早稲田大学・人間科学学術院・准教授

研究者番号：10288045

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高解像度に表すために、その生活史と気候条件の関係をモデル化した。ハマダラカの一生の多くは水のなかにあることから、土壌水分量を正確に表し、生活史の段階に応じて水温と気温に依存して生長させた。開発したモデルは代表的な観測サイトでのハマダラカの季節的消長を正確に再現をすることができた。このモデルと一般気象要素の値をモンスーンアジア全体に適用し、ハマダラカの地理的分布を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：The relationship between the life cycle and climate conditions of the malaria vector mosquito *Anopheles* was modeled to describe its temporal and geographic distribution at a fine resolution. Since the mosquito grows through immature life stages in an aquatic environment, the model was designed to express the surface moisture conditions conducive to the mosquito's growth. The development of the mosquito was estimated using either air or water temperature, depending on the developmental stage of the mosquito's life cycle. As a result, the model was able to predict seasonal patterns of occurrence of *Anopheles* at representative sites with a more reasonable degree of accuracy. This model was then applied using simple climate data to obtain the geographic distribution of the occurrence of various species of *Anopheles* in Monsoon Asia.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動、環境モデル、環境情報、地球温暖化、生態系影響評価、健康影響評価、次世代環境影響評価

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化は植物生産や農業生産ばかりではなく、害虫や微生物の活性や分布にも大きな

影響を与えることが予想されている。現在気候下での日本はマラリアの脅威にはさらされていないが、将来の温度上昇は南方系の病気の日本上陸をもたらすと考えられている。その

ため、さまざまな実証的なフィールド調査による研究が増え、どのような条件でマラリア原虫が活性化するか、いかにマラリアを回避するかなどといったことは次第に明らかになりつつある。また、ハマダラカの生理学的研究や気温分布の変化のシミュレーションも行われてきている。しかしながら、気候変化にともなうマラリア拡大の広域評価は、IPCC 第四次報告書において整理されている 8 つの文献のうち、7 つはアフリカ・ヨーロッパを対象としたものであり、アジア地域ではインド全土を対象とした研究しかない。アジア地域でも同様にマラリア感染のリスクがあるにも関わらず、同地域での定量的広域評価はほとんど行われていない。

ハマダラカのような生物は生活史という生態学的観点からみると、その一生の半分以上は水のなかで生活している。しかしながら、医学系を中心としたマラリア研究では単純に気温をベースとした潜在分布域を大雑把に取り扱っているのみであり、このような状況が続く限り、将来のハマダラカの生息域の推定やマラリアのリスク評価は根本が揺らいでしまうだろう。しかしながら、ハマダラカの生息する水たまりの温度は、連続的・広域的に観測されていることはない。それゆえ、まずはシミュレーションによって水温を正確に再現する必要がある。

2. 研究の目的

(1) モンスーンアジア地域を対象として、媒介生物の生活史のうち多くを占める水体に着目し、その熱収支・水収支を一般気象要素から正確に計算する方法を確立する（モンスーンアジア域の水温の季節的な分布がわかる）。

(2) 求められた熱収支・水収支項にもとづいて、媒介生物の地理的分布のメカニズムを組み込んだ生息域判定モデルを開発する（ハマダラカの生息域を水温をはじめとする気候条件から判定可能になる）。

(3) 将来気候下での媒介生物の地理的分布を明らかにするための作成したモデルを応用する手法を確立する（将来のハマダラカの分布域、とくにモンスーンアジア域への拡大を予測できる）。

3. 研究の方法

(1) 日平衡水温モデルの精緻化

日本を対象とした植被のある水田の熱収支

モデルをもとにした日平衡水温式のうち、植物体からの長波放射の考慮を見直した。このチューニングにより、モンスーンアジア全体の浅い水体（植被がある場合とない場合の両方を考慮する）の熱収支に適用した。

(2) ハマダラカの生息データの収集

さまざまな亜種が存在するハマダラカの現在気候下での分布状況を過去の膨大な文献調査をもとにデータベース化した。地理的な分布だけでなく、時間・季節的な消長も併せて整備した。同様に、入力用の気候データベースを作成した。

(3) ハマダラカの生活史にもとづく分布シミュレーションモデルの開発と検証

ハマダラカの生活史をいくつかの段階にわけ、それぞれに気候と関連する生理生態学的な閾値を設定した。このモデルの入力値は一般気象要素に限定し、広域評価を妨げる複雑で詳細なパラメータは必要としない。このモデルをモンスーンアジア全域に適用し、ハマダラカ各亜種の生息時期や気候的適域を再現した。

(4) 将来気候値データベースの整備と将来気候下のハマダラカの生息域評価

将来のハマダラカの生息予測のための将来気候値を計算に使えるように整備した。とくに、日単位のデータや空間解像度を合わせる事が重要である。開発した分布モデルと将来気候値データを用いて、2070~2090年頃のアジア地域のハマダラカの分布域を予測した。

4. 研究成果

(1) 一般気象要素を用いた地表面の熱収支と水温の正確な推定方法の開発

関東近郊の森林（雑木林）、耕地、住宅などの都市域といった植生や土地被覆の違いによって熱収支がどのように変わるかを観測した。それよると、同じ時間で距離がわずかに 700m しか離れていない二つの観測点の温度は最大で 6.9 度も異なった。これは住宅地と耕地という地表面の違いによってもたらされる局地的な気象現象である。同様に、雑木林は夏季に被陰の役割を果たして地表面付近の温度を下げ、逆に冬季には長波放射を地表面にもたらすことで温度が上昇することがわかった。

次に、水稻が植わっている水田を主体とした環境を想定し、従来の研究では考慮することがなかった植物体からの長波放射と大気からの長波放射を区別するモデルを開発した。このモデルを日本全国に適用して、植被があ

る水体と存在しない水体の熱収支の違いを明らかにした。それによると、春先から初夏にかけて水稲田水温は (LAI < 1.5 のとき)、植被のない水温よりも平均で約 0.3°C 高くなった。その後この水温差は次第に小さくなり、真夏 (LAI > 1.5) になると逆に水稲田水温の方が裸水田水温よりも平均で約 1.5~2.0°C 低くなった。この水温差は主として葉の繁茂によってもたらされ、イネの生育段階に応じて大きく変動した。すなわち、イネの生育初期においてはイネ自身が出す長波放射によって水温は暖められ、生育中期から後期では葉面積の増加によって短波放射が被陰されるので水温は低下したと考えられる。

この二つの熱収支研究によって、コナラなどの雑木林やイネに共通して、地表面の熱収支を正確に予測するためには、植被の発達を考慮することがきわめて重要であることがわかった。また、後者の研究によって、広域的に一般気象要素から水温を正確に予測することが可能になった。

(2) ハマダラカの生活史にもとづく気候学的潜在分布評価モデルの開発とハマダラカの季節的出現期間の再現

(1) により正確に得られた水温情報を用いてハマダラカの卵、幼虫、蛹の段階の生息条件を規定することを試みた。同時に、その他の一般気象要素から地表面の熱収支・水収支を明らかにし、土壌水分量の変化を日単位で表現した。

それによると、モンスーンアジア各地での土壌水分量や水温の観測結果と本モデルの出力結果は、水温ベースで 0.5 度以内の誤差できわめてよく一致し、一般気象要素から日単位の地表面の熱収支を高い精度で予測できることがわかった。

次に、ハマダラカの生活史を記述するため、1000 を超える既往研究を調査し、生活史の各段階での生息を可能にする気候学的閾値や成長速度を求めた。そこで得られたパラメータ及びパラメータ値を用いて、生活史モデルを開発した。モンスーンアジアの各気候帯を代表する地点での実測されたハマダラカの出現期間とこのモデルによって得られた出現期間を比較したところ、両者のズレは約 20~40 日程度であった。これは、フィールド研究の観測の間隔が約 2 週間から 2 ヶ月であることを考慮すると妥当な値であると言える。

(3) モデルのモンスーンアジアへの適用

開発したハマダラカの生息評価モデルと一般気象要素を組み合わせ、一年間でハマダラ

カが何回世代を繰り返すことができるか (最大可能な年間世代数) を求めた (図 1)。このモデルはその特徴から、Ecophysiological and Climatological Distribution of mosquito generations (ECD-mg) モデルと名付けた。マラリア感染の北限は北朝鮮付近にあり、年間 4~5 世代以上に相当する。衛生状態の関係で感染例がない日本も同水準のポテンシャルをもっている。一方で、タイやベトナムなどの東南アジアでは約 11~12 世代であり、これはマラリアの感染力が強くなるハマダラカの世代数であると考えられる。さらに、インドネシアなどの南アジアにおいては、年間 20 世代以上繰り返されている。

以上のように、現在のマラリア感染数と世代数の関係にはおよその比例関係にあることがわかった。また、成長速度がもっとも早い場合、1 世代あたり 8 日、もっとも遅い場合で 40 日程度であった。1 世代を全うするのにこれよりも時間がかかる場合には死亡していたと考えられる。

(4) 水収支モデルの改良とハマダラカ各亜種の分布評価

(2) (3) で述べたハマダラカの生息の気候学的ポテンシャルを評価する ECD-mg モデルについて、とくに蒸発散を中心とした水収支の観点からさらなる改良を加えた。改良されたモデルを検証するために、モンスーンアジアを代表する 5 種のハマダラカを選び、それぞれの生育可能期間の再現実験を行った。その結果、モンスーンアジア代表点の水収支評価の精度はさらに高まり、それを反映して、ハマダラカの出現期間の推定誤差は約 15~20 日まで縮小された。

同時に、種固有のパラメータを含まない開発モデルであっても、5 種ともにそれぞれの生息状況を正確に再現することができた。このことは、気候条件がハマダラカの亜種の生息域を決めていることを意味する。

(5) 将来気候下のハマダラカの生息域及び季節的出現期間の変化

開発した ECD-mg モデルに将来気候値データを入力して、2070~2090 年頃のアジア地域のハマダラカの分布域を予測した。その結果、分布の北限はほとんど変化しなかったが、中緯度域では 2~3 世代、低緯度域においては 1 世代、現在気候下での最大可能な世代交代数が増加することがわかった。これは 1 世代あたりの生長速度の変化と比例していた。一方で、乾燥が進むインドシナ半島やインド内陸部では世代数や生長速度はほとんど変化しな

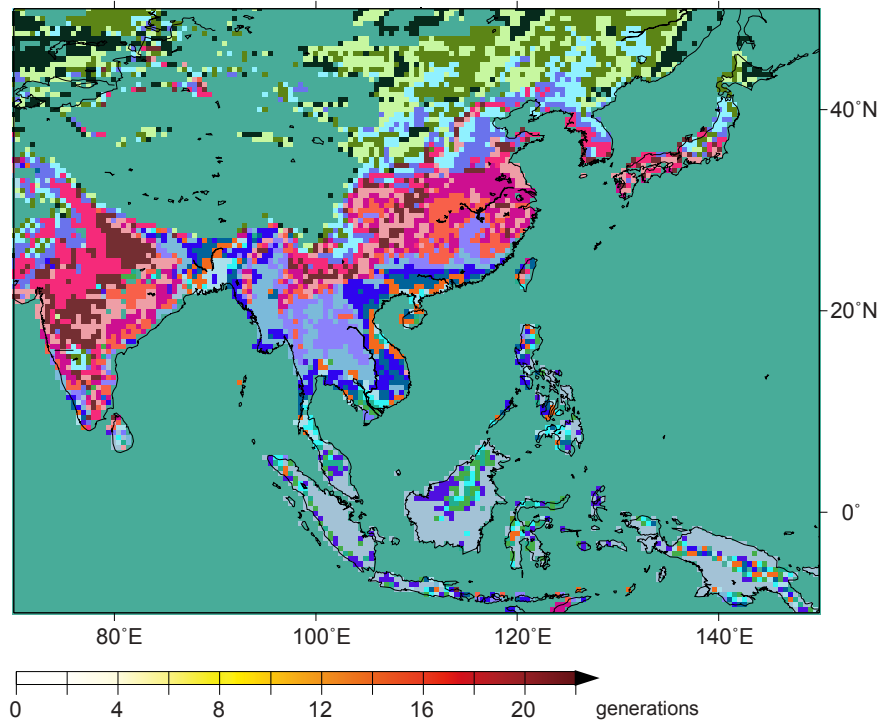


図 1. ECD-mg モデルによる現在気候下でのハマダラカの年間世代数の地理的分布（濃い色の地点ほど世代数が多いことを示す）

かった。

将来気候下においては、このような気候学的なハマダラカの世代数の増加によって、潜在的なマラリア感染リスクは高まることが予測された。

(6) 本研究課題の成果の位置づけと今後の展望

開発した ECD-mg モデルは日単位の一般気象要素を入力値としながらも、生活史を考慮した生理生態学的モデルをベースとしており、最大可能な年間世代数を出力することができる。この特徴から、時々刻々変動する気象要素に対応してハマダラカの生息可能期間やその地理的条件を予測することができる。このようなモデルによる媒介生物の気候学的ポテンシャルを推定した研究はほとんどなく、医学・生態学・気候学を統合するアプローチの重要性を示すこともできたと言える。

一方で、本研究課題による成果はあくまでも気候学的ポテンシャルであり、人間による土地利用変化や灌漑システムの導入をとともなう農地の利用、都市の拡大といった感染症と強く関係する項がまだ考慮されていない。また、ハマダラカ亜種のそれぞれに特徴的な分布を詳細に予測するところまでは至っていない。加えて、東アジア地域で今後猛威をふるうことが予想されるデング熱の媒介蚊などへ

の本モデルの応用も必要であろう。この三つの今後の展望をもとに、新たな科学研究費による研究を着手したところである。

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 4 件）すべて査読あり

1. Yokobori T and Ohta S (2009) Effect of land cover on air temperatures involved in the development of an intra-urban heat island., *Climate Research* 39: 61–73. doi: 10.3354/cr00800
2. Ohta S and Kimura A (2009) The effects of plant growth on the temperature of paddy waters., *Journal of Agricultural Meteorology*, 65: 167–178. doi: 10.2480/agrmet.65.2.9
3. Kashiwada M and Ohta S (2010) Modeling the spatio-temporal distribution of the *Anopheles* mosquito based on life history and surface water conditions., *Open Ecology Journal* 3: 29–40. doi: 10.2174/1874213001003010029
4. 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: in press. doi: 10.3354/cr01087

〔学会発表〕 (計 15 件)

1. 太田俊二, 横堀拓也, 東京郊外の気温と土地被覆の関係, 日本農業気象学会 (農業環境工学関連学会 2009 年合同大会), 2009 年 9 月 15 日~18 日, 東京
2. 柏田百代, 太田俊二, 西村昭治, ハマダラカの生活史にもとづく地理的分布評価の試み, 個体群生態学会 (第 25 年次大会), 2009 年 10 月 17 日~18 日, 京都
3. 柏田百代, 太田俊二, 温度、水分条件を用いたハマダラカ分布モデルの開発, 日本生気象学会 (第 48 回大会), 2009 年 10 月 30 日~31 日, つくば
4. 柏田百代, 太田俊二, ハマダラカの生活史に基づく地理的分布の評価, 日本生態学会 (第 57 回大会), 2010 年 3 月 15 日~20 日, 東京
5. 寺澤恭介, 太田俊二, 複数の土地被覆が含まれる地域における天空率と気温の関係, 日本農業気象学会 (2010 年度全国大会), 2010 年 3 月 17 日~19 日, 名古屋
6. Ohta S, Terasawa K, Effects of sky view factor and types of land cover on local air temperatures in a suburban area of Tokyo, Japan., *International Workshop on Urban Climate Projection for better Adaptation Plan*, June 2-3 2010, Tsukuba
7. 寺澤恭介, 太田俊二, 天空率と土地被覆の違いが東京郊外の気温に与える影響, 日本ヒートアイランド学会 (第 5 回), 2010 年 7 月 17 日~18 日, 神戸
8. 加我拓巳, 太田俊二, 柏田百代, ハマダラカの生息環境に基づく個体群動態モデルの開発, 個体群生態学会 (第 26 年次大会), 2010 年 9 月 22 日~23 日, 横浜
9. 加我拓巳, 太田俊二, 柏田百代, 水環境を加味した新しいハマダラカ個体群動態モデルの開発, 日本生気象学会 (第 49 回大会), 2009 年 11 月 6 日~7 日, 東京
10. 加我拓巳, 太田俊二, 気象条件に基づくモンスーンアジア域における感染症媒介蚊個体数の時間的推移の評価, 日本生態学会 (第 58 回大会), 2011 年 3 月 8 日~12 日, 札幌
11. Ohta S, Kaga T, Effects of future climate on energy balance of paddy field in Japan., *International Symposium on*

Agricultural Meteorology 2011, March 15-19 2011, Kagoshima

12. Ohta S, Kaga T, Impacts of dietary changes and increasing human population on food production., *International Symposium on Sustainable Bioproduction - Water, Energy, and Food.*, September 18-23 2011, Tokyo
13. 加我拓巳, 太田俊二, 気象要素に基づく潜在的なハマダラカ生息域の推定, 個体群生態学会 (第 26 年次大会), 2011 年 10 月 23 日~24 日, 岡山
14. 加我拓巳, 太田俊二, 半乾燥地域における灌漑農業による水収支の変化がマラリア媒介昆虫の発生に与える影響, 日本農業気象学会 (2012 年度全国大会), 2012 年 3 月 14 日~16 日, 大阪
15. Kaga T, Ohta S, Irrigation systems in semi-arid regions encourage the growth of malaria vector species., *Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ & The 5th EAFES International Congress*, March 17-21 2012, Shiga

〔図書〕 (計 3 件)

1. 太田俊二 (2009) 変化する気候と食料生産-21 世紀の地球環境情報, コロナ社, 2009, 214p. (単著)
2. 彼末一之, 永島計, 紫藤治, 稲葉裕, 田村照子, 太田俊二, 堀越哲美, 澤田晋一, 田中英登, 福岡義隆 共編 (2010) からだと温度の事典, 朝倉書店, 625p. ISBN 978-4-254-30102-1 (編著「E 編」277-344, 分担執筆 289-291, 292-294, 314-316)
3. Ohta S and Kaga T (2011) Possible effects of future climate changes on the maximum number of generations of *Anopheles* in Monsoon Asia., In: Blanco J, Kheradmand H (eds) *Climate change - geophysical foundations and ecological effects*. InTech, Rijeka. 247-272. doi: 10.5772/24136, ISBN 978-953-307-419-1

〔その他〕

Proceedings:

Ohta S, Kaga T (2011) Impacts of dietary changes and increasing human population on food production., *Proceedings of the CIGR International Symposium*, 1-8.

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・准教授
研究者番号：10288045

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし