

malaria
NO MORE
japan

Malaria No More Japan
2022 report

食料安全保障と健康：
サブサハラアフリカ（SSA）における稲作とマラリアの関係

発行に寄せて

この度、Malaria No More Japanは、サブサハラアフリカにおける稲作とマラリアの関係から食料安全保障と健康リスクの関係を考えるレポートを皆様に届けることができ、うれしく思います。

本書は、マラリア流行国や2国間・多国間開発パートナー、民間セクター、NGO 及びコミュニティ組織、財団、研究・学術機関など 500 以上のパートナーが参加して、ゼロマラリア達成のための活動をコーディネートするグローバルなプラットフォーム、「マラリアを終わらせるためのロールバックマラリア (RBM) パートナーシップ (The RBM Partnership to End Malaria)」の要請、および、国連財団 (the United Nations Foundation) の助成を受けて、執筆されました。気候変動と人口増加にともなう開発の進展は、私たちの生活や社会インフラに影響を与え、生態系に変化をもたらしてきました。とりわけ、環境変化に起因する生態系の変化が、感染症リスクを増大させる可能性がかねてより指摘されていました。本書は、サブサハラアフリカにおける水稻栽培の拡大に伴う生態系の変化が引き起こす感染リスク拡大の可能性に関する文献調査を中心に行ったものです。

2015年に国連総会で、全会一致で「我々の世界を変革する:持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」が採択されてから7年、私たちは持続可能な開発目標 (SDGs) の認知の拡大とともに、環境・経済・社会が不可分一体のものであり、複合的な視野で課題解決にあたる重要性を認識しつつあります。本レポートはこの視点に立ち、マラリアリスクの拡大を農業および感染症研究双方の立場より議論したものです。2020年よりはじまった新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) のパンデミックの影響で、現地での調査はかないませんでしたが、今後現地調査を含めさらなる詳細な調査が必要と考えられます。そのための予備調査として、本書は農業振興プロジェクトにおける感染症リスクの考慮の重要性を提言、今後のさらなる検討をもとめる内容となっています。

最後になりましたが、同書は、ロンドン大学衛生・熱帯医学大学院のジョー・ライズ博士を始め、多くの方々の協力を得て執筆されました。ジョー・ライズ博士、同大学院研究助手・博士課程学生のカリスタ・チャン氏、アフリカライスセンター システムアグロノミストのアリ・イブラヒム氏、そして、アフリカライスセンター 主席研究員である齋藤和樹博士に厚く御礼申し上げます。

2022年6月 認定NPO法人Malaria No More Japan

マラリアとは?

世界で最も人を殺している生き物は、「蚊」。1分に一人、アフリカでは子どもが命を落としています。

蚊が運ぶ病気の中で、もっとも深刻なのが、マラリアです。

マラリアは、HIV/AIDS、結核と並び、三大感染症の一つ。

マラリアは、マラリア原虫という寄生虫で引き起こされる疾患で、マラリア原虫が感染した蚊に刺されることで伝搬されます。メスのハマダラカ(羽斑蚊)が卵を育てるのに必要な吸血をする際、マラリア原虫が蚊の唾液腺を通して人の血流に侵入すると感染します。人にマラリアを引き起こす固有の原虫は、熱帯熱マラリア原虫、三日熱マラリア原虫、四日熱マラリア原虫、卵形マラリア原虫の4種類ですが、その他サルマラリア原虫の数種類が人に感染することが報告されています。

2021年にWHO(世界保健機関)が発表した「世界マラリアレポート2021」によれば、2020年のマラリア患者数は世界で2億4100万人、マラリアによる死亡者数は62万7000人と推定されています。そのうち、マラリア患者の約95%、死亡者の約96%がサブサハラアフリカ諸国に集中しており、死亡者の約80%は、5歳未満の子どもでした。これは、おおよそ1分に1人、世界のどこかで、子どもたちがマラリアで命を落としている計算になります。

ゼロマラリアに向けた日本の貢献

感染症対策が外交課題として注目されたのは、日本が2000年に開催したG8九州・沖縄サミットでした。日本の主導で「沖縄感染症イニシアチブ」がまとめられ、主要国などが資金を拠出する「世界エイズ・結核・マラリア対策基金」(グローバルファンド)の設立(2002年)につながりました。

ゼロマラリアを達成するためには、マラリアの予防・診断・治療を含む、質が確保された保健サービスに全ての人々がアクセスできるようにするための政策が整っていなければなりません。発熱があったときに、すぐにマラリア診断にアクセスできるか否かは生死にかかわります。そのためには、保健システムの強化とともに、誰一人取り残されない

マラリア対策が求められています。同時に、予防や複数のセクターにまたがる統合的アプローチ、新たなイノベーションなど、これまでのマラリア対策で学んだ教訓をユニバーサルヘルスカバレッジ(UHC)の達成に活かすことも重要です。

これまでの日本発の技術として、住友化学が開発した第一世代長期残効性防虫蚊帳「オリセット® ネット」に続き、第二世代の抵抗性対策蚊帳「オリセット® プラス」がWHOの Prequalification 制度(PQ)においてから認証を受け、現在世界中の流行地で活用されています。さらに同社が開発した室内残効散布剤「スミシールド™50WG」は、既存の殺虫剤に対して耐性を獲得した蚊にも高い効果を発揮する殺虫剤として、2017年にWHOのPQ認証を取得し、世界のマラリア予防に貢献しています。

一方、マラリアを含む感染症のR&Dを推進する日本の取組みとして、日本初の国際的な官民パートナーシップのグローバルヘルス技術振興基金(GHIT Fund)は、2013年からの累計投資額276億円のうち約44%にあたる約123億円を、国内外の企業や研究機関が共同参画するマラリアの治療薬やワクチンなどの研究開発(R&D)に投資してきました(2022年3月31日時点)。GHIT Fundの支援を受けて、研究機関や民間企業による抗マラリア候補薬や候補ワクチンの探索的研究及び非臨床試験も進められており、マラリア関連のR&Dをめぐる動きが広がりを見せています。

マラリアを排除することは多くの命を救うだけでなく、これまで病気のために埋もれていた人間の可能性を引き出すことにつながります。マラリアは貧困による病気であり、また貧困を生み出すものでもあります。この悪循環を断ち切ることは、目標1「貧困をなくそう」など、SDGsが掲げる多くの目標の実現の追い風となります。マラリアの排除は、まさに2030年のSDGsの達成を加速することにつながります。

食料安全保障と健康： サブサハラアフリカ（SSA）における稲作とマラリアの関係

Suggested citation:

Lines, J., Chan, K., Saito, K., Ibrahim, A. 2022. Food security and human health: the link between rice and malaria in sub-Saharan Africa. Malaria No More Japan, Japan 34p.

Contents

要約	5
1 SSAにおける稲作の歴史と進歩	6
a) SSAのコメに関する現在および今後の需要	6
b) 稲作の動向:面積の拡大と収量の増加	7
c) SSAにおける稲作の特徴とその生産阻害要因	8
d) SSAにおけるコメ分野開発における現在の重点分野	8
2 SSAにおけるマラリア感染と対策の動向	9
a) SSAにおけるマラリア	9
b) SSAにおけるマラリア感染の動向	9
c) 現状のマラリア対策の戦略	10
3 マラリア・リスクに対する稲作の影響	11
a) コメとマラリア媒介蚊の関係	11
b) 2005年以前の水田の逆説	11
c) 2005年以降の再評価	15
d) 本セクションのまとめ	17
4 水田におけるマラリア媒介蚊の繁殖を抑制するための対策	18
a) マラリア媒介蚊を発生させずに、コメを生産する必要性	18
b) 水田における蚊の制御	19
c) 稲作栽培技術における媒介蚊制御の可能性	21
d) 本セクションのまとめ	23
5 まとめと結論	25
a) アフリカの稲作とマラリアの関係の新しいエビデンス	25
b) 戦略的な対応策	25
c) 重点対策分野	25
6 参考文献	27
7 著者略歴	32

要約

サブサハラアフリカ (sub-Saharan Africa、以下SSA) では、コメの消費が急速に伸びており、各国の農業省および国際開発援助のドナー・コミュニティは、同地域のコメの自給を達成するために、稲作振興を支援している。一方、各国の保健省は、マラリア排除を目標にしている。いずれも「持続可能な開発目標」(SDGs) において望ましいが、水田は、マラリアを感染させる蚊の主な繁殖地となっているため、そのトレードオフについて関心が高まっている。私たちの報告書は、(i) コメの収穫面積がSSAにおいて増加してきており、今後も増加すると予想されていること、(ii) マラリア感染の増加に関する潜在的なリスクに対して注意を払うことなく、稲作振興事業が行われていること、(iii) SSAでコメを栽培している地域はより高いマラリアのリスクにさらされていること、(iv) 蚊の発生を抑制しつつ、コメ増産を可能にする有望な技術が存在することを示している。以上の結果に基づいて、本報告書では、農業および健康の両分野に対する将来的なアクションを提案する。

1 SSAにおける稲作の歴史と進歩

a) SSAのコメに関する現在および今後の需要

コメ (*Oryza spp.*) は、SSAの大部分の地域において、主食とされる穀物であり、食料安全保障と社会安定に対する戦略的穀物でもある¹。同地域におけるコメの消費量は、他のどの農産物よりも急拡大している(図1および2)。SSA域内の人口は最近10億人に達し、2007年から2016年²における一年あたりの平均成長率は約2.5%であり、世界で最も高い人口増加率となっている。同時期におけるSSAのコメに対する需要も、年6%増となっている。この需要の増加の主な原因は、急速な人口の増加、都市化、そして、所得の増加を伴う中産階級層の成長によって消費パターンと嗜好が(キビやモロコシのような)伝統的な主食から、コメなどの食品²に変化したこともあげられる(図2)。SSAにおけるコメの消費は、この大陸の著しい人口増加率と都市化³から、当面は継続して増加すると予想される。

1960年代より、SSAにおけるコメの消費は、その生産を上回ってきた(図1)。需要と地域の供給のギャップは、過去70年の間に次第に大きくなってきている。2020年におけるコメの消費は、精米ベースで推定約3,220万トンであり、これは世界市場で取引されている量の33%に相当する。不足する約1,560万トンは輸入によって賄われている⁴。言い換えると、2020年のSSAの自給率はわずか48%だったことになる。

SSAでは、1人当たりの年間のコメ消費量は30kgで、アジアの消費量(1人当たり100kg/年)に比べるとはるかに少ない⁵。ただし、消費量は国ごとに格差があり、ギニア、マダガスカル、マリ、コートジボアール、リベリア、シエラレオネ、ベニン、ギニアビサウ、コモロ連合、セネガル、モーリタニアでは、1人当たり年間50kg以上を消費する⁴。

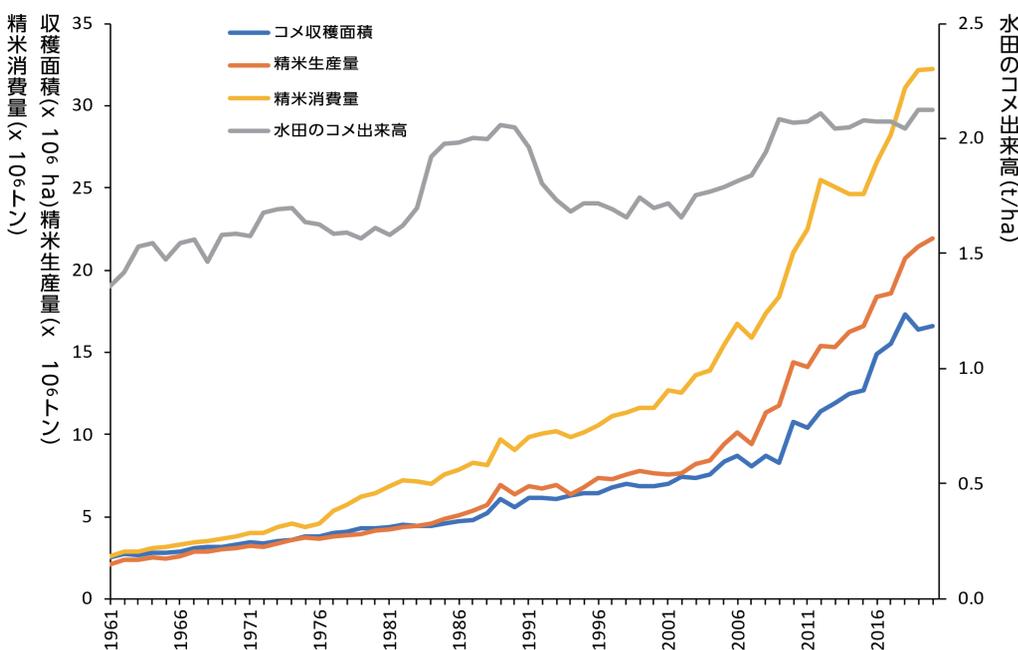


図1. サブサハラアフリカSSAにおけるコメの収穫面積、精米生産、消費、および籾収量の傾向⁴

b) 稲作の動向:面積の拡大と収量の増加

SSAにおけるコメ消費の拡大にともない、コメ生産量は漸進的に増加してきた(図1)。この生産量の増加は、単位面積あたりのコメ生産量(以下、収量)の増加およびコメの収穫面積の拡大によるものである。2000年から2020年の間に、収穫面積が、690万ヘクタールから1,660万ヘクタールに増加した(図1)。一方で、収量は、1ヘクタールあたり1.7トン(t/ha)から2.1トンに増加している。SSAにおけるコメの収量は、徐々に改善されてきたが、そのレベルは、全世界平均の約4.4t/haよりもはるかに低いままである⁵。

近年のコメ生産量の増加にもかかわらず、コメ生産は、SSAにおける消費に追いついていない(図1)。しかしながら、(a)コメの収穫面積の拡大の可能性が高いこと、そして、(b)潜在的に達成可能な収量と現在の収量水準の間に大きな差があることから、コメ生産増加によって同地域における需給ギャップを狭めることは可能であると考えられている^{6,7}。コメ収穫面積の拡大の可能性についていえば、SSAで2.39億ヘクタールの推定総面積を持つ湿地が大いに期待できる⁶。ここでは、湿地を「常時あるいは季節的に湛水する土地」と定義する。さらに、灌漑可能な面積は、現在の灌漑地域の1.8倍に相当する約2,400万ヘクタールに及ぶ⁸。SSA諸国における実際の収量はその潜在的収量のわずか38%にすぎない⁹。

SSAにおける、コメに関する大きな需給ギャップとコメ生産の増加の可能性、さらに2007～2008年の食料価格の急騰につながった食糧安全保障への不安から、同地域の各国政府と国際ドナー機関は、SSAにおける自給を達成するためにコメ分野を強化する取り組みに注目するようになった^{1,10}。2008年には「アフリカ稲作振興のための共同体(CARD)」と呼ばれる国際イニシアティブが発足し、その第2フェーズで、CARDは、2018年から2030年の間に、SSA諸国におけるコメの生産量の倍増を目指している¹。

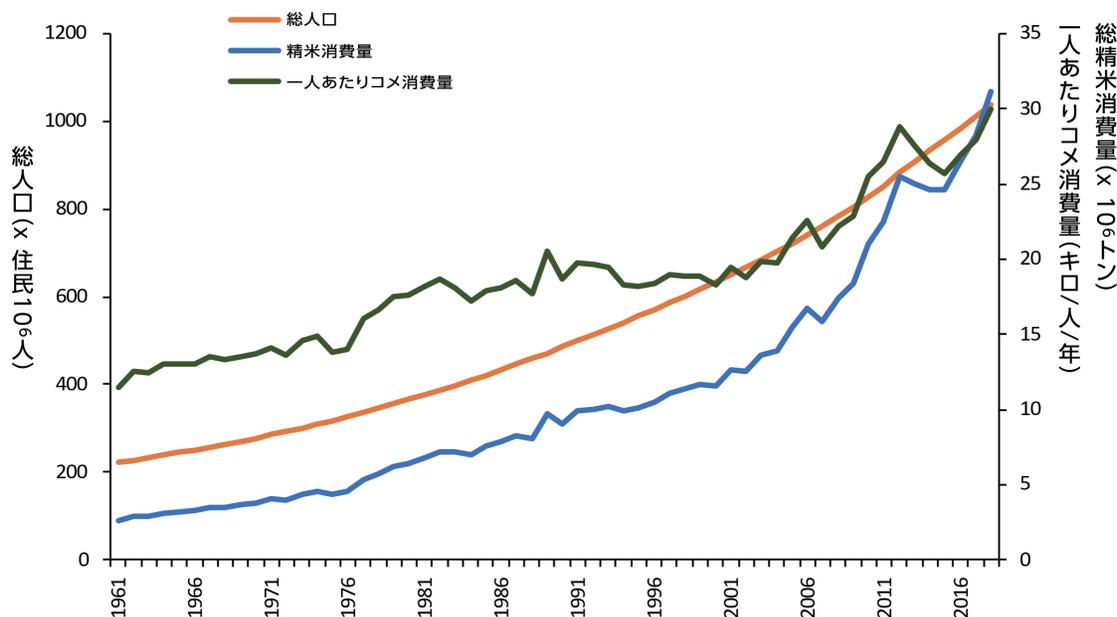


図2. 人口増加、精米消費、および人口一人あたりのコメ消費の傾向 (FAO、2021年)

c) SSAにおける稲作の特徴とその生産阻害要因

SSAのコメは主に灌漑水田、天水田、天水畑地で生産される。その他にも浮稲およびマングローブ湿地での水稲栽培もあるが、作付け面積は多くない。灌漑水田、天水田、天水畑地およびその他は、SSAの総収穫面積のそれぞれ22%、40%、35%、4%を占める¹¹。地表水および水源によって稲作栽培環境が異なり、灌漑水田では畦畔のある土地で単作あるいは二期作以上の作付けが行われる。天水田での栽培は、主に内陸部の谷間の低地の平坦あるいはわずかに傾斜した地域で、無畦畔、または、有畦畔の水田で行われる。天水畑地での栽培は、一般に、平坦あるいは傾斜した無畦畔の畑で行われる。一般に、灌漑水田での栽培は、他の栽培環境に比べると、収量がより大きい^{9,12}。たとえば、SSA19カ国で行われた農家圃場調査によれば、1ヘクタール当たりのコメの平均収量は、灌漑水田4.0トン、天水田2.6トン、そして天水畑地1.6トンだった。灌漑水田の収量は、1ヘクタール当たり約4.4トンの世界平均に近い。「SSAではコメの収量が低い」という一般的な認識は、栽培環境やそれらの収穫面積に占める割合を区別していない各国の統計データに起因しており、SSAの低い収量水準は、収量がより低い天水田および天水畑地占める面積がより大きいことによるものである。

収量の低い原因は、様々なあり、例えば、非生物および生物ストレス、社会経済的な制約条件があげられる¹³。具体的には、鉄過剰障害、塩害、極端な温度、干ばつ、洪水、雑草害、病害、そして、不十分な土地管理、水管理、作物栽培管理などが低収量の原因としてあげられてきた¹³⁻¹⁹。SSAにおける生産阻害要因を軽減し、コメの収量を高めるために、コメの品種改良を含む様々な技術が、50年以上に渡って開発されてきた^{15,20-23}。

d) SSAにおけるコメ分野開発における現在の重点分野

上述のように、各国政府および国際的ドナー・コミュニティは、特に2007～2008年の食糧危機が発生したことを踏まえ2008年以降、SSAにおけるコメの自給を達成するための、様々な稲作振興プロジェクトを開始した(例えば、アフリカ稲作振興のための共同体(CARD)²⁴、CARI²⁵、RIKOLTO²⁶、国家稲作振興戦略(NRDS²⁷)。その多くは、コメの生産量の増加、農家の所得増加、そして現地米の競争力強化を主要な目標としている。これらに加え、いくつかのプロジェクト(例えば、CARI、RIKOLTO)が、Sustainable Rice Platform(SRP)と提携して、持続可能なコメ生産の奨励を始めている。SRPは、民間、公的機関、市民組織等からなる100以上の会員を持つ組織であり、持続可能な稲作栽培技術を採用するように農家に働きかけ、小規模自作農の生計を向上し、地球温暖化防止、環境保全に貢献することを目指している。SRPは、環境・経済・社会的な持続性に関する「SRPパフォーマンスインジケータ(評価指標)」を策定した²⁸。この指標には、収益性、労働生産性、収量、水生産性・水質、窒素(N)利用効率、リン(P)利用効率、生物多様性、温室効果ガス排出量、食品安全、労働者安全衛生、児童労働および若者の参画、そして女性のエンパワーメントが含まれている。このような指標は、農業開発プロジェクトにおける栽培技術の普及において、迅速かつ効率的なモニタリングの実施に貢献するものである。しかしながら、上記に示したような農業開発プロジェクトが、水田開発によるマラリアの患者増加という潜在的なリスクに関心を払わずに、コメ分野の開発を支援している点に注意が必要である。

2 SSAにおけるマラリア感染と対策の動向

a) SSAにおけるマラリア

マラリア原虫(Plasmodium)により引き起こされ、時には命を落とすことになるマラリアは、公衆衛生上深刻な問題となっている。世界のマラリア患者は、2020年には2億4100万人であり、62万7000人が死亡した。SSAの32カ国にマラリア患者は集中しており、世界のマラリアによる死者の93%がSSAで起きていた²⁹。感染率が高い地域で、最も影響を受けやすい集団は、5歳未満の幼児および妊婦である。個人レベルから国家レベルまで、マラリアによる経済損失は膨大であり、アフリカでのマラリアによる経済損失は年間120億ドルと推定される。

SSAが他の地域に比べて、マラリアが深刻な理由として、(1) 主な寄生虫種である熱帯熱マラリア原虫(Plasmodium falciparum)が、ヒトマラリア寄生虫の中で最も致死性が高いこと、(2) 他の地域に比べて医療制度が相対的に脆弱であること、そして何よりも重要なのが、(3) アフリカのマラリア媒介蚊であるガンビエハマダラカ(Anopheles gambiae s.l.)が、世界で最も効率的な媒介種であることである。「効率的」とされる理由は、他の動物よりも人に対する吸血嗜好性が非常に高い、またガンビエハマダラカの平均寿命が長いことによる。このため、原虫が蚊の中で成長し、蚊を媒介して人にうつる確率が高くなる。ガンビエハマダラカは、道路脇のぬかるみの足跡を含むさまざまな場所を利用して繁殖でき、特に水田の条件によく適応している。

b) SSAにおけるマラリア感染の動向

1960年代の世界マラリア撲滅プログラム(GMEP)などのさまざまな取り組みにより、1950年代以降、世界全体ではマラリア感染が減少してきた。GMEPによる大規模な室内残留散布(IRS)の取り組みは、主にアジアおよびラテンアメリカで行われ、SSA諸国で国を挙げて、農村部の住民に対する取り組みが始まったのは、2000年代前半以降である。

その取り組みがSSAで実現可能になった要因は3点挙げられる。第一に、幼いアフリカの子どもの死亡理由として高い割合を占めていたマラリアが、1990年代以降展開された室内残留散布の実施が子どもの生存に非常に効果的であったことが挙げられる。2点目は、2000～2004年にかけての長期残効型防虫蚊帳(LLINs)の開発である。これはこれまでの蚊帳が頻繁に殺虫剤に漬ける処理をしないといけないという手間を省略した。3点目は、2002年にグローバルファンド(世界エイズ・結核・マラリア対策基金)が設立され、抗レトロウイルスやLLINsといった大規模なマラリア対策事業に対し、国際的ドナー機関による直接投資が可能となったことである。これらの3つの要因が組み合わさり、アフリカのインフラが不十分な環境でも、農村部の住民に対し、持続可能な形で有効なベクターコントロール(媒介昆虫駆除)を行うことが、初めて可能になったのである。

2004年から2012年の間に、世界規模でLLINs配布キャンペーンが展開され、支援対象は大幅に拡大した。

2007年には国連事務総長は、「公衆衛生コミュニティは、効果的な抗マラリア介入策による「ユニバーサル・カバレッジ」の目標を採択するべきだ」と述べている。「ユニバーサル・カバレッジ」キャンペーンのものとマラリア介入が及ぶ地域や住民の増加は、遠隔地の貧しいコミュニティにおいてさえも、子どもの死亡率の削減が公正かつ効果的であったと評価されている。

これらの努力の結果、過去20年間に、アフリカの住民、特に感染しやすい5歳未満の乳幼児の感染件数は大幅に減少し、マラリアによる年間の死者数はおよそ50%減少した(図3)³⁰。

殺虫剤抵抗性の問題、有限的な資金調達、さらに最近では(結果として5万人近い超過死亡となった) COVID-19 パンデミックを含め、ゼロマラリアに向けた進歩は、課題に直面しているが、WHOは、「2030年までにマラリア発生率および死亡率を少なくとも90%削減する」という、野心的な目標を掲げている。この結果、一部のSSA諸国では、マラリア排除目標への計画を策定することになった。たとえばナイジェリアの「全国マラリア制圧プログラム」は、現在は「全国マラリア排除プログラム」にアップデートされている。

c) 現状のマラリア対策の戦略

現状の世界のマラリア対策戦略は、LLINsおよびIRSを利用したベクターコントロールに大きく依拠している。これらは、最も強力で、最も費用対効果が高い、現在利用可能なマラリア対策ツールであり、過去20年、これらによって1,000万人以上の死亡が予防されてきた。しかしながら、その使用には限界がある。第一に、アフリカでは、媒介蚊の行動の変容によりこれらの効果は減退し、感染は減少したものの、完全な予防には至っていない。第二に、現在急速に拡大、進化している殺虫剤抵抗性の問題がある。これらの理由から、特に環境管理を通じた幼虫発生源対策といった、既存の方法を補完する代替の対策が展開されることがある。たとえば、欧州、中央アジア、それに中国の一部³¹など、水田がマラリアを媒介するハマダラカの重要な繁殖地となっている地域において、蚊の水中生育段階を対象とする幼虫の発生源対策(LSM)は歴史的に重要な役割を担った。この水田を対象と

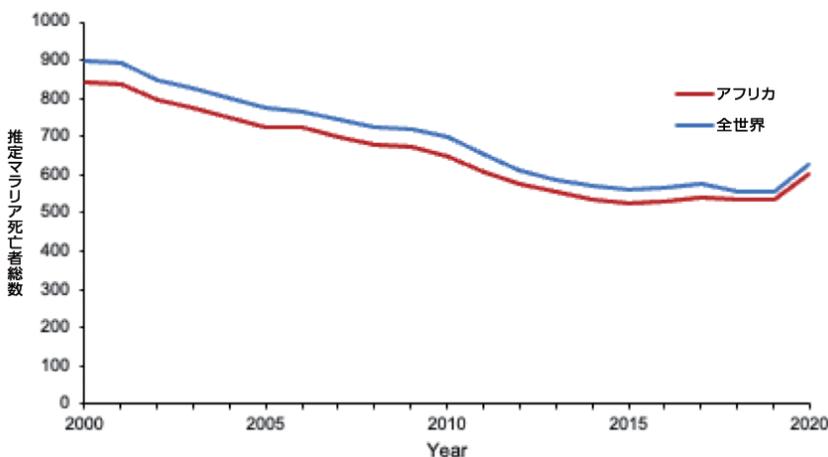


図3：世界およびアフリカにおけるマラリアによる死者の総推定数の傾向 データ：WHO²⁹。

した蚊の繁殖の予防対策は、ゼロマラリアに向けた集中的なキャンペーン期間中だけではなく、マラリア排除後においても重要な役割を果たすと考えられる。特に、他の媒介蚊対策も終了した“流行ゼロ固め”が続くステージや、流行が“再び流入”するのを阻止しなければならないステージにおいて、とりわけ重要な役割を果たす。

3 マラリア・リスクに対する稲作の影響

a) コメとマラリア媒介蚊の関係

世界の稲作地域では^a、様々な種類の蚊が水田を繁殖地として利用している。ただし、多くの地域では、水田に生息する蚊の種は、ほとんど、あるいはまったくマラリアの媒介蚊としての機能を持たず、現地のマラリア媒介蚊の主要種は水田以外で繁殖することが多い。

しかしながら、現在（あるいは過去）に水田が、マラリア媒介蚊第一の繁殖地となっている例外は複数ある。中国中部、南東ヨーロッパおよび中央アジアの一部、コロンビアおよびペルーの一部、インドネシアの一部など、それにSSAである³²⁻³⁴。たとえば南東ヨーロッパや中国本土では、既にゼロマラリアを達成しているが、SSAではマラリアは重要な問題のままである。アフリカにおける主要媒介蚊であるガンビエハマダラカは、マラリアの伝搬能力が非常に高く、その結果、世界のマラリア罹患者および死者の85%以上がアフリカに集中している。ガンビエハマダラカは、水田での繁殖嗜好性が高いハマダラカ種である。したがって、農業的な視点から見ると、コメ生産はより多いにもかかわらず、マラリア媒介蚊（例、クリシファーズハマダラカ、ダイラスハマダラカ、コガタハマダラカ）が水田での繁殖に十分に適応していない南アジアや大メコン圏地域よりも、SSAは、コメとマラリアの間の相互作用がより大きくなっている。

ガンビエハマダラカ^bは、狭く、日あたりがよく、新しく湛水した、淡水の水たまりで良く繁殖する³³。特に栽培の早い段階における水田の水条件は、この種に非常に適している^{35,36}。ガンビエハマダラカは、「開拓」種であり、苗を移植したばかりの水田など、新規に形成された水圏にコロニーを作る最初の蚊のひとつである³⁷。ここでは、水がまだ新しく、無脊椎の水生捕食者が現れる前に侵襲した、季節的発生初期の幼虫の大多数が、成虫になるまで高い生存率で生き延びることができる（幼虫期間は約1週間）。だが、水が数週間の間に、ある程度安定した状態になると、次第に各種の水生捕食者がコロニーを作るようになり、多くの幼虫が成虫になる前に捕食されてしまう。したがって、通常は移植後最初の4～5週間の間に蚊の発生はピークを迎える。この第一波の成虫数は、しばしば季節全体に現れる総数の50%以上をしめる³⁸。

過去、灌漑水田は、低湿地にて開発されてきた。そこでは独自の自然な蚊の相が形成され、それなりに安定した環境が保持されていた。しかし、そのような天然の湿地から灌漑水田への転換が、蚊の相を大きく変化させ、マラリア媒介蚊の繁殖に適した環境となった³⁹⁻⁴¹。たとえば、西ケニアで行われた研究では、天然の湿地から主に動物を刺咬する非媒介種の多様な種類を採取できたが、水田では多様性ははるかに低く、90%ものガンビエハマダラカ(*An. gambiae* s.l.)とフネスタスハマダラカ(*An. funestus*)ばかりが天然の湿地と同等に採取された。

b) 2005年以前の水田の逆説

何十年にもわたって、ガンビエハマダラカの成虫は灌漑水田の近くの村で特に多く観察されており、これらの蚊

の増加が、人々の集落近くでのマラリア感染を増やす可能性があるのではないかと懸念する声が多く聞かれた。しかし、この議論に対するエビデンスは驚くほどさまざまで、たとえばマダガスカルのようなマラリア流行度が常に高いわけではない地域においては、マラリアと水田の間の明確で強い関連が報告されている^{46,47}。しかし他の地域、特にアフリカ本土のマラリア流行度が高い場所では、水田とマラリアの関係は一貫せず、不明確であった。たとえば、2001年にIjumba, J. N. & Lindsay, S. W.は、マラリアの流行を、稲作しているコミュニティと近隣の稲作をしていないコミュニティで調査した複数の研究を比較した⁴⁸。2人が発見したのは、マラリア流行が恒常的に起きている地域において、稲作を行う村では媒介蚊は多いものの、マラリア感染は少なくなることだ。2人はこれを「水田の逆説」と呼んだ⁴⁸。その後数年の間にわたり、西アフリカのさまざまな稲作栽培環境において研究が行われた。その結果は、同様の逆説的パターンを踏襲している。稲作を行う村落には、より大きな蚊の集団が認められたが、マラリア感染件数は、稲作をしていない村落と同等か、あるいは若干少なかった⁴⁹。

「水田の逆説」を説明するために、これまでさまざまな仮説が提唱されてきたが、有力な説は、水田稲作が蚊を増やすだけでなく、マラリア感染予防に資する有益なメカニズムも同時にもたらしたから、というものだ。問題は、蚊がもたらす有害な影響と、マラリア感染予防に資するメカニズムによる有益な影響の間のバランスであり、多くの場合、このバランスは損得なしのニュートラルであるか、若干有益な影響が勝るように思えた。

この結論の影響は大きく、これ以降、アフリカで灌漑および天水田稲作を奨励する機関は、この「水田の逆説」のストーリーを利用して、蚊の存在にもかかわらず、アフリカにおける水田開発はマラリアに悪影響を与えないと安心感を与えたのである⁵⁰。

しかし「水田の逆説」の背景にあるとされるメカニズムをより綿密に検討することが重要である。3種類のメカニズムが提唱され、それぞれに対するエビデンスもあった。

第1の、最も一般的なものは、稲作が補償的な社会的利益、すなわち感染を抑制する、社会経済的・環境的な利益をもたらしたというものだ。この中には、道路や住宅のような恩恵から、市場に出回る蚊帳や抗マラリア薬、質の高いヘルスサービスといった具体的なマラリア対策が含まれる^{43,51-55}。注意すべきなのは、これらのマラリア対策に効果があると思われるメカニズムは、相互に緊密な関係にあり、実際にマラリアの抑制に役立っているメカニズムと、そのプロセスに受動的に関連しているメカニズムとを分けて考えることが難しいことだ。このメカニズムの鍵となる特長は、不均衡に基づいている点である。これは、稲作を行う村と行わない村の間で実在する永続的な社会経済的な不均衡があることを前提としている。

2番目に提起される要因は、マラリアに感染するリスクが高い条件下での感染流行が飽和状態になるから、とい

a 本報告書のこのセクション(3-a)では、「rice (コメ)」稲作という単語は水田での稲作、灌漑された、天水低湿地での水稲栽培によって収穫されたコメを意味しており、畑地条件での稲作は陸稲は考慮に入れていない。

b ガンビエハマダラカ同胞種でもっとも広く分布しているのは、狭義のガンビエハマダラカ (*An. gambiae* s.s.)、コルツツィハマダラカ (*An. coluzzii*)、アラビアハマダラカ (*An. Arabiensis*) である。この3つはすべて、水田で多く繁殖している。西アフリカの水田水稲栽培での繁殖に適応したことで、狭義のガンビエハマダラカからコルツツィハマダラカへの分岐が促進されたと考えられる。

うものだ。このような条件においては、人々の多くは大部分の時間において感染状態にあり、高いレベルの部分免疫を獲得している場合がある。感染の流行が100%に近づくと、感染を引き起こす蚊の刺咬が、既に感染している人に向けられることとなる。感染のさらなる増加は起こりうるが、これは単に、既に感染している人々が、追加的に刺されるだけで、既に100%近いいため、流行に対してはほとんど影響がない。したがって、流行や類似のマラリア学的な指標は、感染のさらなる増加に対して相対的に反応しなくなるが、抗マラリア剤で頻繁に治療している人の場合は新たに発症しやすい可能性がある。過去の論文では、アフリカの稲作とマラリアの関係は、安定した流行環境よりも、不安定な流行環境でより強く見られるとしている^{48,49}。

最後に、昆虫学的なメカニズムも、「水田の逆説」の結果を生み出す可能性がある。これは蚊の生息密度が非常に高い場合、密度に依存するメカニズムは、集団の媒介蚊としての能力、つまりは感染させる能力を低下させる（あるいは少なくとも上限が設定される）という考えである。このことは、2つの違ったかたち、すなわち、(1) 幼虫段階での成長における競争が増すことで成虫の寿命が短くなること、あるいは、(2) (極度の刺咬による不快感増大起因する)蚊帳の利用の増加によって、もしくは、水稻近くで牛が増えることで成虫の採餌の成功率が減ることによって起こる。

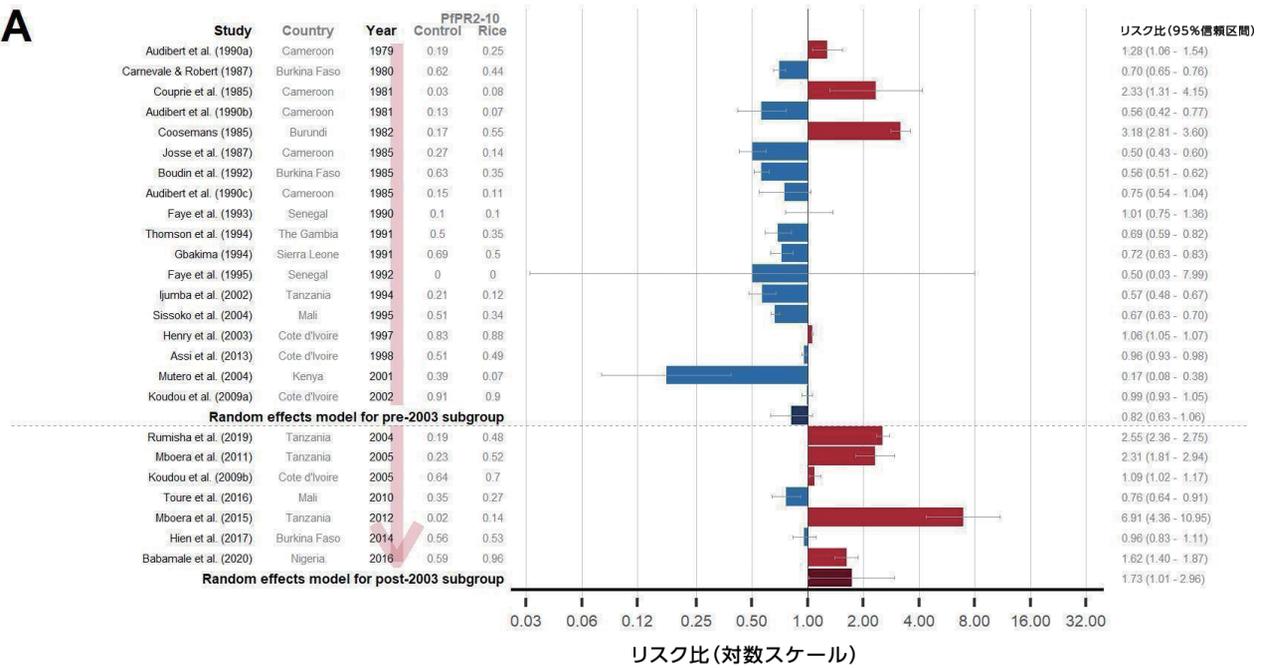
このような3つのメカニズムの可能性を考慮し、稲作と非稲作村落におけるマラリア感染を比較する研究を再評価する場合、何を検討するべきだろうか？ 重要な問題のひとつは、過去15～20年の間に、このようなメカニズムとその相対的な重要性に数多くの変化が起こってきたということである。

「水田の逆説」研究が実施された1990年代から2000年代前半以降、アフリカにおけるマラリアのイメージは大きく変化した。近代的なマラリアに対する取組み（ベクターコントロール、診断法、そして治療）の対象地域が大幅に拡大し、適用範囲も、コミュニティ内、そしてコミュニティ間ではるかに平等となってきた。その結果、一般的な感染力の強度、そして一般住民におけるマラリアの流行が、同時かつ平等に、幅広く低下してきた。私たちの「水田の逆説」に関する現代的な見方にとって、これには2つの意味合いがある。

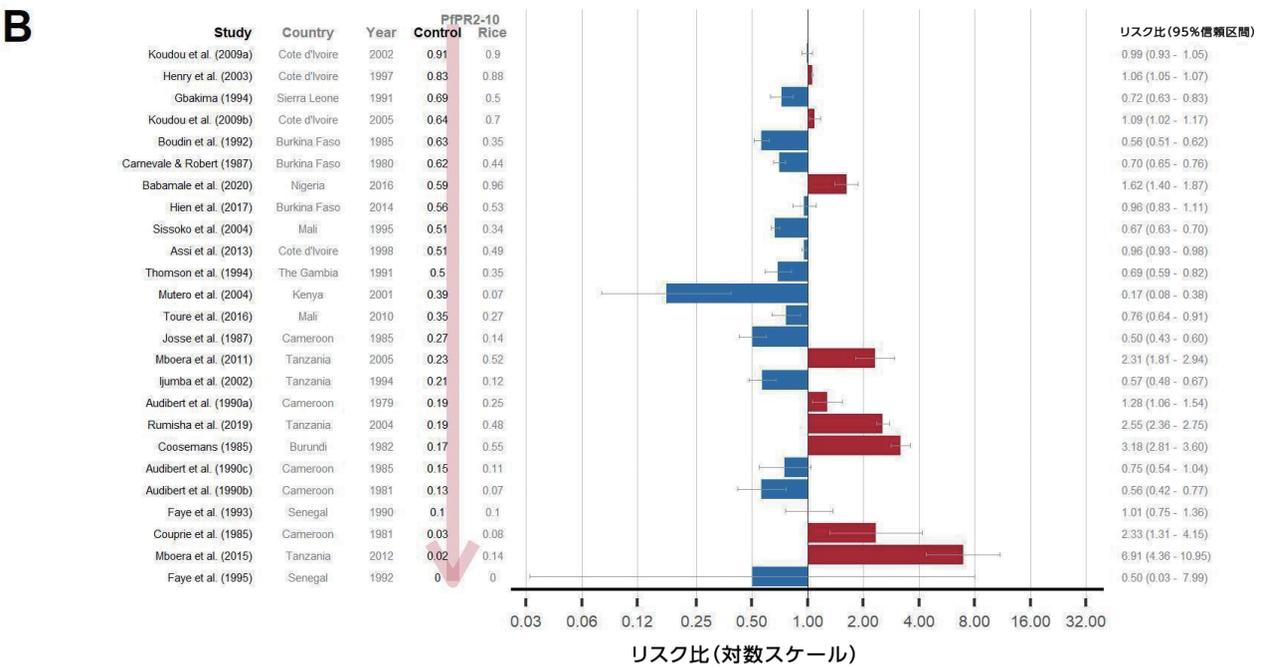
まず、マラリアに対する取組みの適用範囲、そして、その適用範囲における衡平性の改善によって、非稲作村落がマラリアに対して非常に貧弱な防御しか持たないと想定することはもはや説得力がなくなっていることだ。マラリアの流行度合いは、以前は稲作村落と非稲作村落間で異なる予防策を取っていたのにかに起因すると考えられてきた。たとえば、LLINsの適用対象は現在広範囲に設定されているが、以前は（殺虫剤処理を施していない）蚊帳の普及率は稲作村落で非常に高く、非稲作村落では非常に低いことが、しばしば報告されていた^{56,57}。一方で、住宅を改善するといった大規模な対策は行われておらず、稲作村落と非稲作村落の間の住宅の差異は以前と比べ、大きいともそうでもないともいえない。

また、全世界的に流行が減少した結果、マラリア感染リスクが高い地域に暮らす住民の割合が相当減ってきている。以前は高リスクにさらされてきた人々も、現在はその多くが、感染リスクが低い状況にある³⁰。したがって、稲作村落と非稲作村落の間でマラリアにかかるリスクの違いがあるとすれば、これはヒトの行動に基づくもので、ヒトにおけるマラリア学的な指標で相対的かつ明確に観察が可能と期待される。

A



B



C

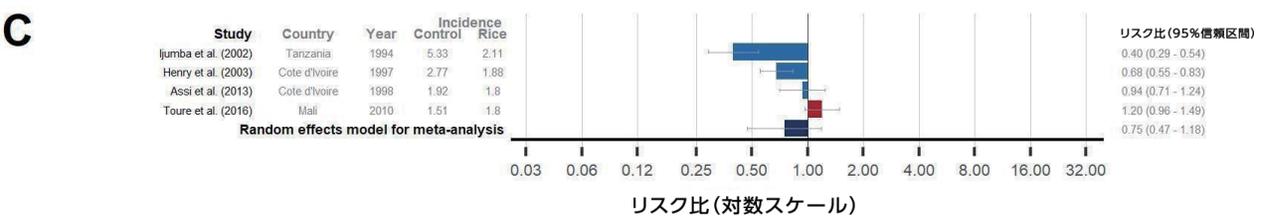


図4：稲作とマラリアの疫学的成果の間関係についてのメタ分析。マラリア感染と、その95%信頼区間537（エラーバーとして示す）を、(A) サブグループ（2003年以前・以後）および(B) 潜在的なマラリア強度に従って図上に記入している。(C) マラリア発症の粗発症リスク比（1日1,000人あたり）とその95%信頼区間を、研究年に従って記入している。ランダム効果モデルを使用して計算した、定量的研究のプールした効果推定値は、(各サブグループの) 下側の濃い色のバーで示されている。赤いバーは、対照地域に比較して、疫学的に発症リスクが稲作村落で高かったものを、青いバーは低かったものを示す。

Chan, K., Tusting, L. S., Bottomley, C., Saito, K., Djouaka, R., & Lines, J. (2022). Malaria transmission and prevalence in rice-growing versus non-rice-growing villages in Africa: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 6(3), e257-e269.

c) 2005年以降の再評価

マラリアの昆虫学および疫学的な研究結果を比較するために、アフリカ西部・中部・東部のSSA諸国14カ国の農業環境で、1971年から2016年のデータを用いたシステマティック・レビューおよびメタ分析を行った。この時期の当初では、(LLINsのような)効果的で近代的なマラリア対策のカバー範囲は非常に狭かった。2000年代前半より、グローバルファンドが「インパクトを与えるためのスケールアップ」(SUFI)を支援した。2016年には、カバー範囲ははるかに拡大し(約50%)、また、公衆衛生の対策の標準化がすすみ、貧富格差に関わらず非常に平等に対策が実施された。分析のために、これらの研究は、急速な「スケールアップ」の時期が始まろうとしていた年に当たる2003年以前に実施されたものと2003年以降に実施されたものの2グループに分けた。

疫学

過去に稲作村落と非稲作村落におけるマラリア感染の有病率を比較した研究は23件あった。2003年以前に実施された16件の研究^cで、全体の粗リスク比[RR]^dは、1とは有意には異なっていなかった(粗RR 0.82、95%の信頼区間 0.63~1.06)。換言すると、稲作とマラリアのリスクの間に関係があるとする有意なエビデンスは存在しなかった。対照的に、2003年以降に実施された7件の研究では、プール分析においてマラリア感染のリスクは、稲作村落において有意に高かった(粗RR 1.73、95%の信頼区間 1.01~2.96)。

初期の研究では、稲作によるマラリア伝搬効果は、高い感染伝搬条件下における流行の飽和のような天井効果に

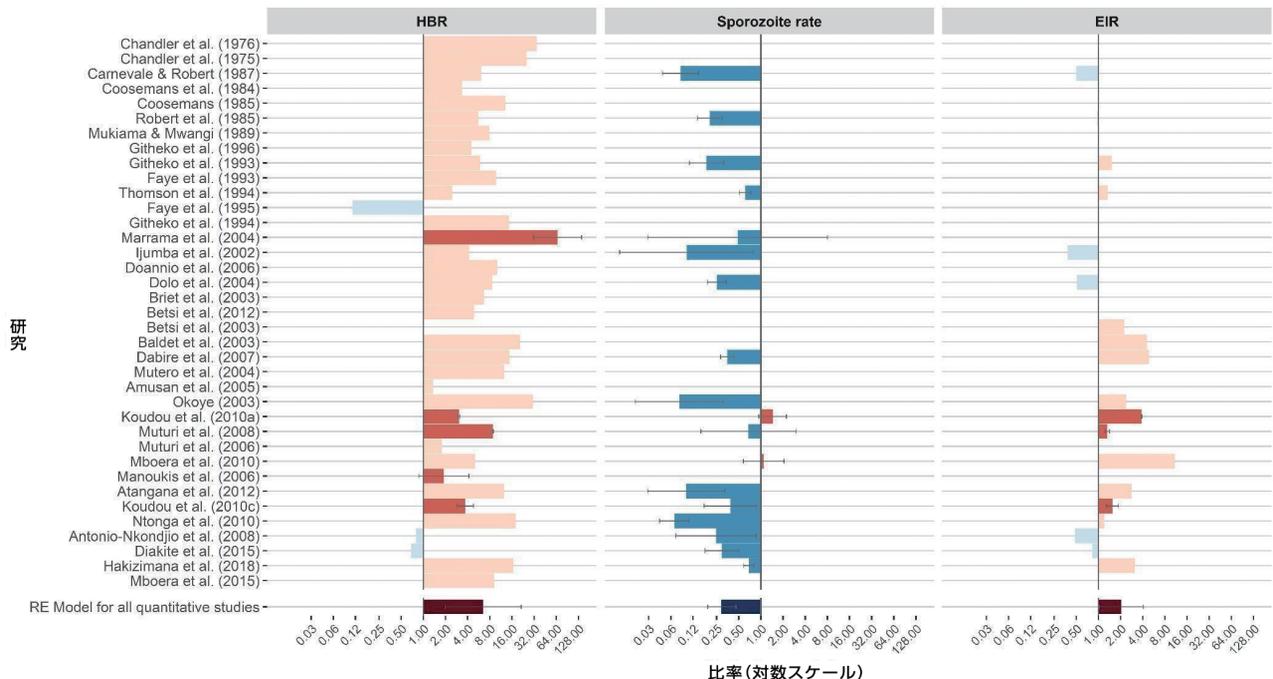


図5：稲作および昆虫学的成果間の関連についてのメタ解析。粗平均比(HBRおよびEIR、対照群は非稲作村落)、リスク比(種虫率)、およびその95%信頼区間(定量的研究のみ、エラーバーで示す)を、研究年に基づいて記入している。赤いバーは、対照群と比較して、昆虫学的に各指標の程度が稲作村落でより高いこと、青いバーは低いことを示す。薄い色のバーは半定量的研究を、実線のバーは定量的研究を示す。ランダム効果モデルを使用して計算した、定量的研究のプールした効果推定値は、下の濃い色付きのバーで示す。

Chan, K., Tusting, L. S., Bottomley, C., Saito, K., Djouaka, R., & Lines, J. (2022). Malaria transmission and prevalence in rice-growing versus non-rice-growing villages in Africa: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 6(3), e257-e269.

よって隠されてきたという考えを支持するいくつかのエビデンスがあった。このような研究を、非稲作村落の流行度(図4B)で並び替えると、3つのグループに分かれた。非常に高い(>75%)流行度基準の場合、稲作村落と非稲作村落の間に違いはほぼなかった。中程度～高い流行度基準(26～75%)の場合、水田の逆説が存在し、稲作村落は、非稲作村落よりもマラリア・リスクが低かった。そして相対的に低い(<25%)流行度基準の大部分(ただしすべてではない)で、稲作村落は、非稲作村落よりもマラリア・リスクが高かった。

昆虫学

稲作村落と非稲作村落のハマダラカによるヒト刺咬率(HBR)のデータを含んだ昆虫学の研究報告は36件あり、そのデータを用いて、上記と同様のメタ分析を実施した。これを図5にまとめた。

全体として、媒介蚊であるガンビエハマダラカの個体数は、非稲作村落に比べて、稲作村落のほうがはるかに高かった。すなわち、全体で約7～8倍(95%信頼区間で2倍～21倍)高い。

蚊の感染率(スポロゾイト・レイト)は、稲作村落ではある程度低くなる傾向にあるが、その差は小さい。すなわち、RR 0.29、95%信頼区間で0.19～0.46、17件の研究となっている。

ガンビエハマダラカの昆虫学的接種率(EIR)を定量的に報告していたのは3件の研究のみで、そのメタ分析は、稲作村落におけるEIRは、非稲作地域のそれに比べておよそ2倍であることを示唆している(リスク比2.03、95%信頼区間で1.02～4.06、3件の研究)。

過去のレビューは、個体群密度が非常に高い場合、蚊の間の競争が増すことで、その寿命が短くなり、その媒介蚊としての能力が低下するという考えを強調してきた。しかしながら、本研究はこの仮説に関しての初めてのメタ分析であり、私たちの解析結果によって、非稲作村落のそれと比較して、稲作村落の媒介蚊の個体数はより多いが、感染力はむしろ低い(より低いスポロゾイト率)ことが確認された。ただし、多くの場合、スポロゾイト率の低下の程度は相対的に小さく、媒介蚊数の大きな増加を相殺するものではない。したがって、住民の、感染性蚊(EIR)による刺咬に対する暴露は、稲作村落のほうが高い傾向にある(図5)。

c 感受性分析を通じて、2003年が、マラリア対策のスケールアップの始まりを示す、相対的に活発な年であったと判断された。

d この例で、リスク比は、非稲作村落におけるマラリアのリスクに対する稲作村落のマラリアの相対的なリスク(流行度あるいは罹患率)を示している。1よりも大きい場合は、稲作村落の方にリスクが高く、1未満の場合は稲作村落の方にリスクが低いことを示す。

d) 本セクションのまとめ

A アフリカにおける稲作とマラリアの関係が問題である理由は以下の通りである

- アフリカでは、コメの消費が急速に伸びている。灌漑水田・天水田稲作の拡大によるコメ増産が進行中である。
- マラリアは、依然としてアフリカにおける公衆衛生の大きな問題のひとつである。アフリカでは毎年40万人以上が死亡しており、世界のマラリアによる死者の80%超を占める。

B アフリカにおける稲作とマラリアに関する確立された考え:「水田の逆説」

- 1995年から2005年間のエビデンスをレビューした結果、灌漑水田での稲作は、マラリア媒介蚊の増加とは関連があるが、マラリア感染件数の増加とは無関係であることが明らかになった。これは「水田の逆説」と呼ばれている。
- これは主に、稲作が蚊ばかりでなく、経済・インフラの発展をもたらすためである。すなわち、より良い住宅および衛生サービス、そして蚊帳や薬を購入できる、その地域の経済発展を意味する。したがって、稲作を行う村落の住民は、マラリアに対して、はるかにすぐれた自己防衛が可能だった。
- アフリカで稲作はより蚊の増加をもたらすが、マラリア感染件数は増えないという考えは、過去20年間のアフリカにおける稲作開発をサポートする決定的な仮説であった。

C アフリカで稲作がより多くのマラリアをもたらすという新しいエビデンス

- 最近の研究(2003年以降)を検討したところ、稲作村落の住民は、非稲作村落の住民よりもマラリア感染リスクが高く、罹患率も高いことが示されている。
- これはおそらく、過去20年間に、効果的な抗マラリア対策実施のカバー範囲が大幅に拡大したことによる。
 - ・ 大規模な調査により、感染対策(特に長期残効型防虫蚊帳の配布)の対象となった人口は、以前よりもはるかに平等となっていたことが分かっている。このことにより、稲作村落と非稲作村落間で、住民が蚊そしてマラリアの感染に対して自己防御する能力に差はなくなっていったと推定される。
 - ・ 20年前には、アフリカの多くの低湿地で、非常に高いマラリア伝搬が認められていた。高い罹患率地域では、伝搬が増大しても既に感染している人々が、再び媒介蚊に刺されることになるため感染罹患率はそれ以上は伸びないという結果になっている。通常、伝搬の減少によって、より多くのコミュニティが中レベルの伝搬となり、住民の罹患率は、伝搬度合いの変化に対して非常に影響を受けやすくなった。

D 稲作に起因するマラリアの負荷

- 「稲作に起因するマラリアの疾病負荷」を評価するにはさらなる作業が必要だが、アフリカでは相当稲作に起因していることは既にわかっている。

E アフリカでのマラリアに関して新たに出てきた課題

- これまでの分析から、稲作に起因するマラリアのリスクは、マラリア感染の基準レベルによって決まることが推定される。マラリアに対する稲作の影響は、感染のバックグラウンドレベルがより低い環境でより顕著である(そしてより多い)傾向がある。
- したがって、アフリカでマラリアが減少する中、稲作がもたらす影響はより顕著になり、国家によるマラリア排除プログラムにとって戦略的に重要となると思われる。
- これは決して驚くべきことではない。水田は、中国本土、中央アジアの一部、それに南東ヨーロッパで、マラリア媒介蚊種にとっての重要な繁殖地であった。このような環境で、水田における媒介蚊の繁殖を抑制するための対策は、撲滅プロセスの必須な要素であると考えられ、マラリアの再発を防止するために、排除後も継続する必要があったのだから。

4 水田におけるマラリア媒介蚊の繁殖を抑制するための対策

a) マラリア媒介蚊を発生させずに、コメを生産する必要性

現在、SSA 諸国は、もはやマラリア流行強度が「飽和」レベルにないが、稲作^eの導入はマラリアのリスクを高める可能性があると考えられる。食料安全保障上の必要性から、稲作の拡大を防止することは選択肢ではない。稲作は必要ではあるものの、現在はマイナスの副作用、すなわち、マラリア感染の増加を伴っている。

これは明らかに分野をまたがる問題であり、農業活動によって健康の問題が悪化している。ではどの分野が責任を負い、どのように責任を分担するべきなのか。

この疑問に対する答えは、ヒトの健康の立場から、単純かつ決定的な対策があれば、より明確になるだろう。たとえば、デング熱、ジカウイルス、そして黄熱はすべて、ネッタイシマカを介して、人から人に伝搬するフラビウイルスである。この3種のウイルスのうち、黄熱の致死率が最も高く、そして100%の永久免疫を獲得できるワクチンが存在する唯一のものである。したがって、デング熱とジカウイルスの制御については、公衆衛生当局は、費用がかかり、効果が限定的なベクターコントロール手法に頼らざるを得ない。対照的に黄熱の感染爆発は、緊急ワクチン投与キャンペーンにより、素早くかつ決定的に抑制することができる。

マラリアの場合、ヒトの健康側からの決定的対策は存在しない。ベクターコントロールと改善された診断/治療の提供のために、世界で1年当たり10億ドル以上が費やされている。相当の進歩があるものの、まだ道のりは長い。新しいワクチンがあるが、効果は限定的である。稲作により生じると考えられるマラリア伝搬を緩和する費用対効果の高い方法とは考えにくい。

では現状のLLINsやIRSのような対策はどうだろうか。もちろん、農業的な視点から、稲作を行う村落に現状の対策を行うことで、問題を解決できると考えるのが自然である。一見すれば、これは魅力的な考えであり、「水田の逆説」を復活させるものとして表現できるだろう。すなわち、稲作を行う村落にはより多くの蚊がいるが、適切な予防措置が取られることで、蚊に刺されることは少なくなるということだ。問題は、その有効性が不平等に依存しているということだ。LLINsやIRSが機能するのは、LLINs配布やIRS散布を、稲作を行っている村落に集中的に実施することで、稲作を行っていない村落が得られる恩恵を奪いかねないということだ。戦略として、公平性というなによりも重要な包括的な原則と、そして誰一人取り残さず全員をマラリア対策の対象とする具体的な政策とを両立させることは難しい。

マラリアの問題は、農業部門だけで解決できないことは明らかである。そしてまた、非常に強力な対策を取り、全力で働いている保健衛生部門でさえも、部分的で不完全な解決策しか提供できない。だが現状の農業の振興は、問題を悪化させると考えられる。したがって、農業が問題の一翼を担うのではなく、問題解決の一翼を担うようにすべきである。

蚊の発生を抑制し、コメ増産に貢献する技術を開発する必要がある。これにはさらなる取り組みが必要になるかも知れないが、実現は可能である。ポルトガル、スペイン、トルクメニスタン、そして中国といった過去にマラリア流行を経験した国の多くで、稲作地帯は、マラリア発生の最後のホットスポットとみなされ、ゼロマラリアの達成と再発防止のために、水田における集中的対策をしばしば行った⁶⁵⁻⁶⁸。

e 本報告書のこのセクションで、「rice (コメ)」稲作という単語は水田での稲作、灌漑された、天水低湿地での水稻栽培によって収穫されたコメを意味しており、畑地条件での稲作は陸稲は考慮に入れていない。

稲作による蚊の発生については、興味深く潜在的に重要な問題として温室効果ガス (GHG) と同様に比較検討されるべきである。いう副作用だけではなく、温室効果を引き起こすメタンを発生させる。いずれの場合も、農家の側ではほとんど、あるいはまったく意識されずに起きている問題だ。農業研究・開発機関は既に、稲作による温室効果ガス排出の問題を認め、排出抑制に向けた取り組みを始めている。今後は、アフリカにおけるマラリア蚊の問題を認め、取り組み始める必要がある。

言い換えれば、稲作の専門家が GHG の問題に取り組み始めた時に、「ウィンーウィンーウィン」の解決策を開発した。すなわち、(a) GHG を抑制する、(b) コメの収量を維持あるいは増加させる、そして (c) 水の使用量を減らす技術である。いま、おそらく、このリストに「マラリア媒介蚊の抑制」を追加する必要がある。必要なのは、「ウィンーウィンーウィンーウィン」の解決策である!

研究開発の課題が、収量を維持・改善し、水を節約し、蚊とメタンの発生量を抑え、(最後に述べるが決して軽んずるべきでないが) 農家によって採用され得る稲作栽培技術を開発することだとすれば、この研究開発プロセスは、蚊の専門家からの技術的なインプットを踏まえ、稲作の専門家がリーダーシップを取るものでなければならず、その逆ではない。農家は、蚊の昆虫学者が開発した稲作技術に関心を持たないものと思われるからだ。

このような解決策が可能であると考えするのに十分な理由がある。稲作技術の代替選択肢は、多種多様だが、蚊に対する影響について研究されたものはわずかである。これらの研究によると、たしかに稲作に関する多くの栽培技術が、蚊に対して、程度に差はあるものの、プラスあるいはマイナスの効果を持つという仮説を支持している。例えば、蚊の発生に与える影響について、作付け前の準備、イネ品種、播種・田植えの方法、除草と肥培管理等について検討する必要がある。より詳細な多くの作業が必要であるが、それぞれが部分的にしか有効でなくても、それらを組み合わせることで、全体として効果的な稲作栽培技術となるとと思われる。

b) 水田における蚊の制御

稲作とマラリア媒介蚊の関係が十分に確認されたことで、1930年代以降、マラリア学者は、水田における幼虫の発生源の削減 (LSM) のため、さまざまな栽培技術について調査してきた。Lacey and Lacey(1990)による詳細なナラティブレビューは、化学的な制御を除く技術を幅広く網羅している⁶⁹。中には伝統的な稲作栽培にすでに組み込まれており、わずかな調整のみで水田における媒介蚊の繁殖を減少させることができる技術の研究も含んでいる。蚊の繁殖を抑制するための水管理の改良研究には、多くの注目が集められてきた。たとえば、Keiser et al (2002)は、水田における間断灌漑についてのナラティブレビューを発表した。その結論は、間断灌漑は、マラリア媒介蚊の密度を有意に減少させ、またコメ収量を高く保ちながら、メタンの排出量と水消費を削減することができるというものである⁷⁰。

20～30年前に書かれた2本のレビューを更新するものとして、私たちはシステムティックレビューおよびメタ解析を行い、概して、化学的および生物学的制御を含む水田 LSM および稲作栽培技術の改良が、コメ収量を増加させ、水利用を減らしながら、マラリア媒介蚊の個体数を減少させることができるのかを評価した。ここでは、結果とその意味合いのまとめを示す。

該当する研究の多くは、1980年代および1990年代に実施された。多くは、北米、アフリカ、東アジア、南東アジアで行われている。微生物殺幼虫剤に関する研究が16件、化学殺幼虫剤が10件、魚類が8件、それにアカウキクサ、カイアシ、インドセンダンに関するものが各1件となっている。改良灌漑に関する研究が8件、整地、除草、水面の高さ、イネ品種、イネの草丈、および栽植密度に関する研究が7件あった。

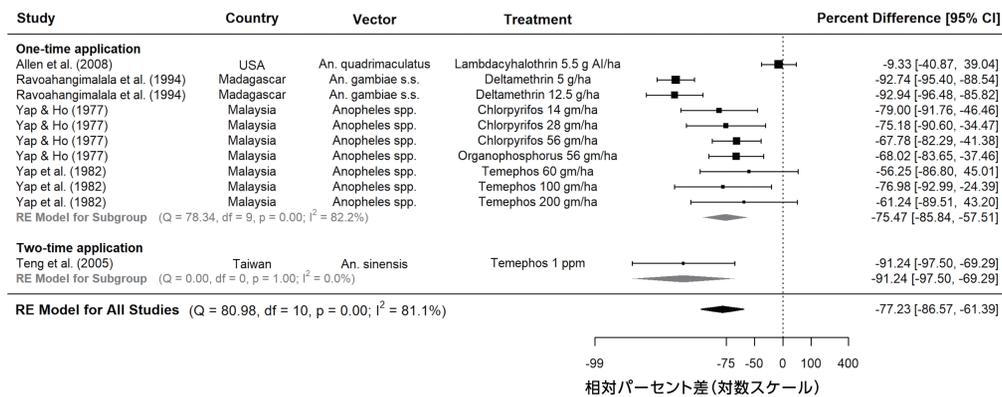
殺幼虫剤

単分子表面フィルム (MSF) の結果はまちまちである。2件の研究では、ハマダラカ幼虫数のわずかな減少が確認されたが、3番目の研究では確認されていない。

デルタメトリンやテメホスのような化学殺幼虫剤は一貫して有効であり、8件の研究で56%から93%の減少を達成した(図6A)。

微生物殺幼虫剤の結果は安定しておらず(図6B)、プールした効果推定値は良好(55%~72%)だが、結果が残念な事例(20%未満)も存在する。最も効果的な微生物殺幼虫剤は、Btiに基づくものであった。

(A) 合成有機化学物質



(B) 生物学的殺幼虫剤

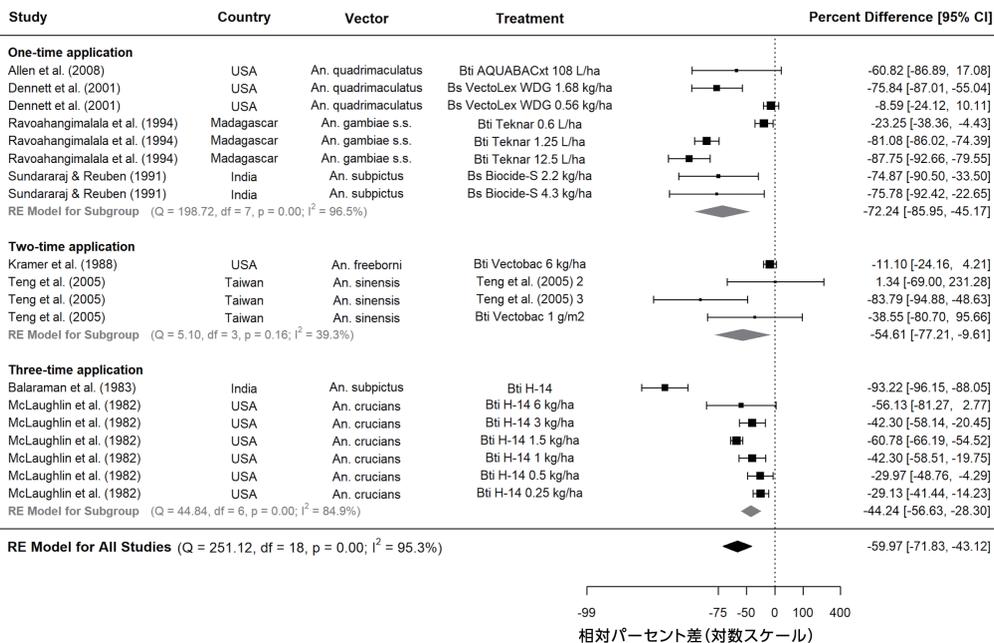


図6：水田におけるハマダラカの幼虫密度に対する(A)合成有機化学物質と(B)微生物殺幼虫剤のプールした効果の推定値。1975年から2004年に実施された、(A)合成有機化学物質の処理回数に関する研究5件、および(B)微生物殺幼虫剤の処理回数に関する研究8件が含まれる。四角は個別研究の相対的有効性を示し、四角の大きさはメタ分析でその研究に与えられたウエイトを表しており、エラーバーは95%信頼区間を示す。ひし形は、ランダム効果(RE)サブグループおよびメタ分析からプールした効果を表す。

Chan, K., Bottomley, C., Saito, K., Lines, J., & Tusting, L. S. (2022). The control of malaria vectors in rice fields: A systematic review and meta-analysis. Under review.

殺幼虫剤の効果は、使用直後が最も高いが、その効果は 2 週間以上継続しなかった。このような殺幼虫剤は、多くの場合、完全に滞留している水を対象としており、残留半減期が多くの場合短い。通常は、(排水、蒸発散、浸透によって) 水の損失および灌漑を通じた水の入替が連続的に起こる。重要なのは、持続的制御のためには、残留型製剤であっても、週間隔で利用を繰り返す必要があることである⁷¹⁻⁷⁴。

したがって、灌漑スキーム全体で、すべての小さな区画に対して殺幼虫剤を均等に施用する、殺幼虫剤の規模を拡大することは費用がかかり、労働集約的である。さらに論理的にいて、毎年 5 ヶ月に及ぶ稲作の季節を通じて、週間隔でこれを繰り返すことは困難である^{75,76}。(無人の航空機を含む) 空中散布は、欧米では広く使用されているものの、大規模な灌漑スキームにおいても、また、SSA の小作農にとっても適した施用システムとは思われない^{72,73,77,78}。

生物学的制御

過去の 5 件の研究結果から、コメと魚を同時に育てることで、80%以上ハマダラカの幼虫の個体数を減らせることが示された。カイアシ、アカウキクサ (モスキートウ・ファーン)、そしてインドセンダンを含む、その他の生物学的制御手法は、水田におけるハマダラカの幼虫数の減少に寄与がなかった。

概して、魚を用いた生物学的制御は、(化学的、微生物および MSF) 殺幼虫剤の利用と比べて、ある程度有効であることが判明した。有効性の程度は、魚の種類とその採餌嗜好による影響を受け、水面採餌で幼虫食の魚種は、底採餌で選択的な採餌を行う魚種に比べて、より高いハマダラカ低減効果を示した^{81,82}。ただ、現地の水田に最適な魚種を選ぶことは簡単ではなく、多くの基準を検討する必要がある⁸²⁻⁸⁴。その大規模利用の観点から評価した 2 件の研究では、魚の水田養殖は農家から歓迎されている。農家は、魚は雑草や害虫を減らし、排泄物で養分を提供することでコメ収量を増やすことに貢献するとみなしている^{81,85}。中国広西では、排水する際に必要な魚が避難する側溝のために稲作区画の一部が削減されても、コイと一緒に育てることで、収量を 10%、1 ヘクタールあたりの所得を 70% 増加させたと報告されている⁸⁴。

SSA では、特定の場所に適した魚種の目録が存在し、そして水が一貫して水田で利用できること (これはアフリカの灌漑水田では重要な制限要因としてあげられるものではあるが) を条件として、灌漑水田での魚の養殖の普及を行うことができる⁸⁶。これに関しては、持続可能な食糧生産とマラリア制圧に関するウィン・ウィンの解決策を提供してきたアジアの水田養殖システムの成功から教訓を得ることができる^{87,88}。

残念ながら、メタ解析に用いた研究はいずれもコメ収量や水使用量のデータを含んでいない。将来の昆虫学的な研究において、このような重要な評価指標を調査する必要がある、それにより水田における媒介蚊の制御の研究が農学者に理解され、引き継がれると考えられる。

c) 稲作栽培技術における媒介蚊制御の可能性

間断灌漑

常時湛水の水田条件と比較した場合、イネの生育途中に落水して土壌を乾かす水管理技術である間断灌漑は、

ハマダラカの幼虫の密度をより低下させるとは限らなかった（図7）。排水の種類によってサブグループに分けた場合、（積極的な）排水を用いた間断灌漑も、（蒸発散および浸透による能動的な）自然落水を用いた間断灌漑のいずれも、幼虫密度の低下には結びつかなかったが、排水を一度のみ行った研究では、幼虫密度を24%高くさせる傾向があった（2件の研究、図7）。幼虫の個体数を発育段階ごとに分けると、間断灌漑は初期齢の幼虫の有意な減少には結びつかなかったものの、後期齢の個体数を35%減少させたことが4件の研究から明らかになった。あるケニアの研究では、移植時の排水とそれに続く（積極的な）排水を用いた間断灌漑は初期幼虫の770%の増加につながったが、後期幼虫の35%の減少に結びついた³⁵。

しかし、全体として、稲作において間断灌漑が、後期齢におけるハマダラカの幼虫の減少に効果的であるとのエビデンスは極めて限られていた。この結果は（幼虫の発育段階にかかわらず）一貫性がなく、媒介蚊制御の成功が場所特異的であることを強調していた先行レビューとは対照的であった^{70,72,89}。この対照的な結果は、私たちのシステムティックレビューの選択基準に起因するものと考えられる。私たちのレビューでは、間断灌漑によりハマダラカの制御に成功したと報告したものの、対照区がなかったり、適切な反復を設けていなかったり、あるいはナミカとハマダラカとの間の適切な区別を欠いていた研究は除外している^{87,90-94}。私たちのレビューからは、間断灌漑は初期齢の個体の増加を妨げるものではない（そして1事例では、産卵を促した可能性がある³⁵）が、後期幼虫への発育を妨げる傾向があると思われる。ただし、この重要な結論は、4件の研究結果に基づいているに過ぎない。従って、より多くのエビデンスの収集が喫緊の課題であり、今後の研究では適切な反復、対照区、幼虫齢および種の区別を伴うといった実験の基本原則を考慮すべきである。

やはり受動的または能動的排水だけでは、蚊の幼虫の全体数を確実に減少させることはできないと考えられ、インドやケニアでは、土壌が十分に乾燥しなかったため、幼虫は死ななかったことが明らかになっている^{35,95}。van der Hoek et al. (2001年)とKeiser et al. (2002年)が強調するように、水田における水管理は、土壌の物理的性質や気候に大きく依存しており、急速乾燥しやすい場所だけでなく水供給の制御が容易である場所が灌漑水田の水管理に適している^{70,89}。排水を繰り返すことは、蚊の駆除を目的にしているが、蚊の水生の捕食者までも殺す可能性がある⁹⁶。蚊は、その捕食者よりも早く、新たに湛水した水田で再定着できるため、連続する乾燥期間の間に1週間以上の湛水期間があれば、「捕食される」というプレッシャーを受けることなく、繁殖を繰り返すことができる。したがって、マラリア媒介蚊に対する間断灌漑の有効性は、湛水期間および乾燥期間のタイミングに大きく依存する。特に水田生態系内での捕食者と被食者の相互作用の観点から、湛水期間および乾燥期間のタイミングの最適なバランスを見つけるためには、地域ごとでの詳細な圃場試験が必要である。

間断灌漑を行うにあたってのもうひとつの制約は、田植え後の最初の2～3週間は排水を実施できないことである。これはイネが植え傷みによって活着が遅れることが多いので、活着するまで湛水条件を維持するためである。残念ながら、この期間は媒介蚊の繁殖のピークと一致する。したがって、この時期の幼虫をコントロールするためには、水管理以外の他の方法が必要である。農学者にとって、間断灌漑は収穫量を損なうことなく、水の消費量を大幅に削減するため、農家に利益をもたらすと考えがちだが、灌漑水が利用できるかどうか安定せず、間断灌漑が多くの労働を必要とするような地域では、農家がこの技術を採用するかどうかにはばらつきがある^{35,97,98}。さらに、稲作農家はしばしば自分たちの間で水を均等に分配するために調整できるか疑問を持っており、「コモンズの悲劇」のような、共有の問題が起こりうる⁹⁹。そのような場合、稲作農家は水管理のための合意された権力者（行政権をもつ機関）をおく方が望ましいと考えている⁹⁵。

水管理以外の稲作の方法

水管理の他に、稲作栽培技術が蚊の幼虫に与える影響について調査した研究は少なかった。日本における1件の研究によれば、イネの草丈の違いは幼虫の数との関連がなかった¹⁰⁰。インドでは、稲の品種および栽植密度はハマダラカの幼虫密度には影響しないことを報告した研究が発表されている¹⁰¹。雑草防除のために除草剤を使用した場合は、使用しない場合と比べ、幼虫の数が77%増加することも認められた¹⁰²。一方、インドネシアでは、農薬によりハマダラカの幼虫が76%減少した¹⁰³。圃場の作付け準備は蚊の数に影響すると思われ、圃場の均平化には影響がなかったが、最小減の耕起圃場では、深耕された圃場に比べ、幼虫の数が65%減少した(1件の研究)¹⁰⁴。

水管理を以外では、稲作栽培技術がマラリア媒介蚊に与える影響に関しては、各技術を対象とした研究がそれぞれ1件しかなく、一般的な結論には至らなかった。しかし、上記の農薬の散布、耕起、雑草防除に関する実験および栽植密度に関する別の研究(イネに見立てたガラス棒が使用されたため対象とせず)は、農学的な要素および条件をわずかに変えることが、蚊の密度に大きく影響しうることを現に示している^{102, 104, 105}。さらに、部分的にあるいは浅く湛水した水田では、幼虫は窪み(通常は足跡)に集中していることが多く、足跡を残す稲作作業が、媒介蚊の繁殖に影響を与えることを示唆している⁸²。

d) 本セクションのまとめ

A 課題: 稲作期間中に水田において蚊の成虫の発生を減らすこと

B 現在適用可能な幼虫を駆除できる手段が複数存在する:

- そのほとんどは化学的・生物的殺虫剤であり、即効性は高いが、残効性はない。
- より長期的な制御には、頻繁な再散布が必要となる。
- 化学的・生物的殺虫剤は長期的にみると、物流面での手間と訓練の観点から、費用がかかり、また要求が多すぎるため、持続的だとは言えない。

C より長期的な抑制的手段が複数存在する: これらは即効性はないものの、成虫まで生存する幼虫の割合を減少させることができる。

- このような手段は即効性が低い傾向にあるが、より持続性がある。
- このような手段の大半は、効果が見られるまで時間がかかる。すなわち、蚊の発生ピーク(田植え後1~5週)を防止することはできない。捕食者の存在により、成虫発生レベル自体はより低いものの、稲作期間の後半における繁殖の減少に貢献しうる。

D すなわち殺虫剤の使用による田植え後4~5週間の短期的な殺虫剤処置とその後の抑制的処置という二つの処置を組み合わせることで、稲作期間にわたる効果的な対策が可能となり得る。

E このような処置が、捕食者数の増加に干渉してはならないことが重要である。イネに被害を及ぼす害虫の制御にも、捕食者の利用促進が含まれており、「統合的害虫管理」という原則にしたがうことが望ましい。実際には、このことはBtiのような、蚊を対象とする生物学的殺虫剤の利用の推奨を意味している。

F アカウキクサや水田養殖を含む、その他の有望な技術

- 驚くべきことに、メダカ (*Nothobranchius* spp、非常に成長が早く、寿命が短く、乾いた泥の中で生息できる)の可能性はこれまで調査されてこなかった。
- 中国南部(およびその他)で用いられている水田養殖を調査し、アフリカでの可能性を探るべきである。

G 水田における蚊の繁殖を抑制する技術開発を(医学昆虫学者のサポートを受けながら) 稲作の研究者が担う場合、手始めに昆虫学者は簡易に蚊をモニタリングできる方法、すなわち簡易に幼虫を数える方法を開発しなくてはならない。

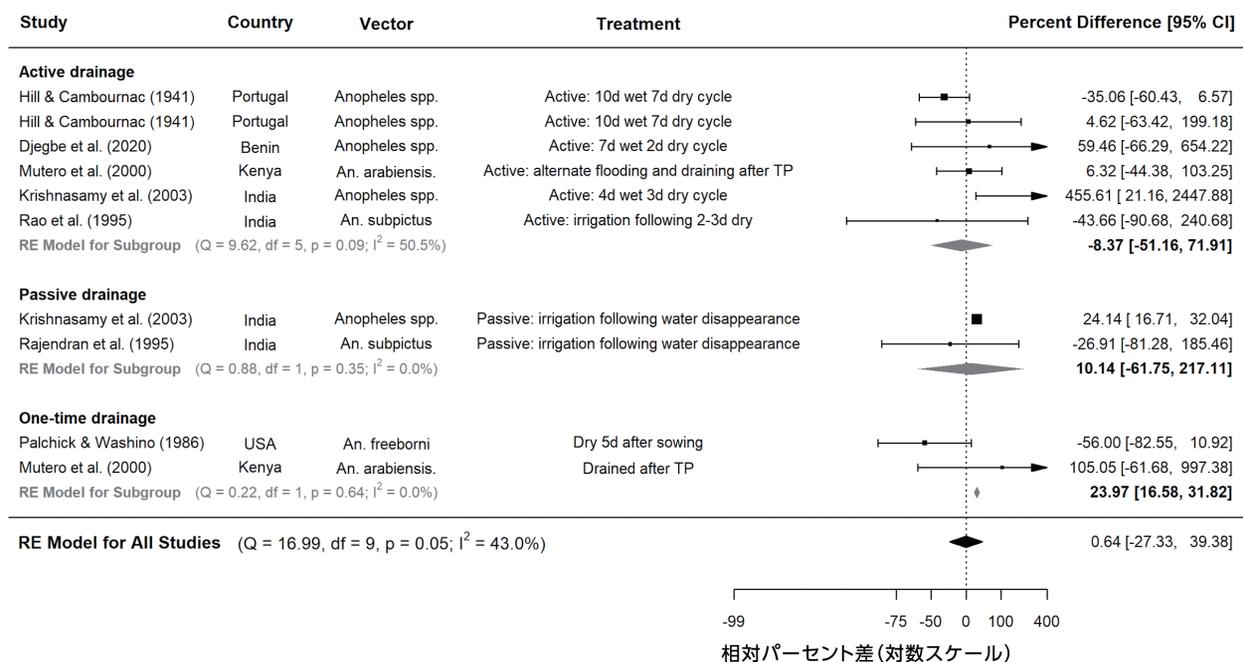


図7：水田におけるハマダラカ媒介蚊の幼虫の密度に対する、間断灌漑技術の効果。1936年から2016年の間に実施された7件の研究を含む。四角は、個別研究の相対的な有効性を表し、四角の大きさは、メタ分析でその研究に与えられたウエイトを示す。エラーバーは95%信頼区間である。ひし形は、ランダム効果(RE)サブグループおよびメタ分析からのプールした効果を示す。

Chan, K., Bottomley, C., Saito, K., Lines, J., & Tusting, L. S. (2022). The control of malaria vectors in rice fields: A systematic review and meta-analysis. Under review.

5 まとめと結論

a) アフリカの稲作とマラリアの関係の新しいエビデンス

- アフリカにおける稲作とマラリアの関係は変化してきた。現在水田での稲作はマラリアに関して負の影響を与えている。
 - ・ 過去 20 年間に、効果的な対策が大規模に広がったことにより、マラリア感染は減少し、対策の適用範囲における不平等は減少した。
 - ・ この変化が起こる前は、入手可能なエビデンスから、稲作が蚊を増やすことはあってもマラリア感染を増やすことはないと思われていた。これは水田の逆説と呼ばれ、当時はおそらく正しかった。
 - ・ より最近のエビデンスによると現在稲作は蚊を増やすだけでなくマラリアも増やすということが示唆されている。
- さらに、マラリアが減少していくにつれ、稲作とマラリアとの関係がより鮮明になり、より一層強くなると示唆されている。水田は、残された感染場所として浮上し、マラリア排除の障害としてより顕著になる可能性が高い。

b) 戦略的な対応策

- これらの調査結果を、健康と食料栄養の安全保障の避けられないトレードオフ、またはアフリカにおける稲作振興を遅らせる理由の一つであると解釈してはならない。
- 事実トレードオフは決して避けられない訳ではない。
 - ・ 水田における蚊の制御技術により水田から発生する蚊の数を抑えることができる。
 - ・ さらに研究によって蚊の発生を減少させるだけでなく、コメ生産を増やし、農家にとって魅力的である稲作栽培技術を開発することは可能であると思われる。
 - ・ アフリカにおける稲作技術開発研究において、コメ生産増およびマラリア媒介蚊の減少という双方の目標達成を優先事項とすべきである。水田から発生する温室効果ガス(GHG)削減の技術の開発に関する成功例にならって、GHGと蚊の発生の両方を制御できる技術を開発することも可能であるかもしれない。
- さらに多くの蚊帳と医薬品を投入するといったマラリア対策は、短期的対策にはなり得るが、マラリア排除へと導く持続可能で、長期的な解決策とはならない。
- 現行の稲作栽培を続けることで、アフリカの水田での稲作は媒介蚊の増加という意図しない悪影響を及ぼす。しかしながら、改良技術の開発導入で蚊の繁殖を抑制することができれば、その悪影響を取り除くことができる。
- したがって、アフリカにおける稲作振興は継続すべきであるが、水田における蚊発生抑制技術を開発するための包括的な研究事業を行うべきである。

c) 重点対策分野

- 包括的な研究事業を行うにあたって、有望なアプローチはイネ研究開発機関の掲げる研究開発目標に蚊の繁殖抑制に関する目標を含めることである。これは稲作振興に取り組むすべての開発プロジェクトに蚊の繁殖のモニタリングを含めることを意味している。
- このモニタリングを実行可能にするには、幼虫の数を数える現在の方法では労力・時間がかかり、困難なものであることから、新しい方法を今後開発する必要がある。
- 発生する蚊の成虫数は、非常に変わりやすく、生育条件に敏感であるため、蚊の抑制には、場所ごとに異なった方法が必要となる。そのため複数拠点での研究開発が必要となる。一方で、稲作栽培技術(耕起・整地・播種・施肥・除草など)は蚊の個体数

に大きな影響を及ぼすことが示唆されているが、こうした効果のほとんどが十分に調査されていないことがわかっている。

- 今回の文献調査により、蚊の抑制技術には稲作期間の最初の数週間に適したものもあれば、後半の時期に適したものもあり、補完的な技術を組み合わせることによって、最適な効果を実現できる可能性が示唆されている。
- 気候変動に対する適応や緩和に資する稲作栽培技術が蚊の抑制に貢献できれば、気候変動と健康の双方に利益をもたらす。
- 蚊対策と有望な稲作栽培技術の研究開発には、稲作農家の視点や見地が必要であり、社会科学分野の研究者との学際的研究が求められるSSAの灌漑水田・天水田では、同じ灌漑地域あるいは同じ低湿地に多くの農家が稲作栽培を行っている。そのため、水田における蚊の制御のための戦略が成功を収めるには、その多数の農家からの協力を求めなければならない。したがって、稲作農家の共同参画を促すアプローチを検討する必要があり、それには社会科学分野の研究者の参画が必要不可欠である。

6 References

1. Arouna, A., Fatognon, I. A., Saito, K. & Futakuchi, K. Moving toward rice self-sufficiency in sub-Saharan Africa by 2030: Lessons learned from 10 years of the Coalition for African Rice Development. *World Dev. Perspect.* 21, 100291 (2021).
2. Nigatu, G., Hansen, J., Childs, N. & Seeley, R. Sub-Saharan Africa Is Projected To Be the Leader in Global Rice Imports. *Amber WavesThe Econ. Food, Farming, Nat. Resour. Rural Am.* 2017, (2017).
3. Macauley, H. & Ramadjita, T. Les cultures céréalières: riz, maïs, millet, sorgho et blé. (2015).
4. FAO. FAOSTAT database. (2021).
5. Bhandari, H. Global Rice Production, Consumption and Trade: Trends and Future Directions. *Koreascience.or.Kr* 2019 (2019).
6. Andriesse, W. Area and distribution. in *The wetlands and Rice in sub-Saharan Africa 15–30* (IITA, 1986). doi:10.3/JQUERY-UI.JS
7. van Oort, P. A. J. et al. Can yield gap analysis be used to inform R&D prioritisation? *Global Food Security* 12, 109–118 (2017).
8. You, L. et al. What is the irrigation potential for Africa? A combined biophysical and socioeconomic approach. *Food Policy* 36, 770–782 (2011).
9. Van Oort, P. A. J. et al. Assessment of rice self-sufficiency in 2025 in eight African countries. *Global Food Security* 5, 39–49 (2015).
10. Saito, K., Dieng, I., Toure, A. A., Somado, E. A. & Wopereis, M. C. S. Rice yield growth analysis for 24 African countries over 1960–2012. *Global Food Security* 5, 62–69 (2015).
11. Diagne, A., Amovin-Assagba, E., Futakuchi, K. & Wopereis, M. C. Estimation of cultivated area, number of farming households and yield for major rice-growing environments in Africa. in *Realizing Africa's Rice Promise* (CAB International, 2013).
12. Tanaka, A. et al. On-farm rice yield and its association with biophysical factors in sub-Saharan Africa. *Eur. J. Agron.* 85, 1–11 (2017).
13. Saito, K. et al. Towards a better understanding of biophysical determinants of yield gaps and the potential for expansion of the rice area in Africa. in *Realizing Africa's rice promise* (CAB International, 2013).
14. Dossou-Yovo, E. R., Vandamme, E., Dieng, I., Johnson, J. M. & Saito, K. Decomposing rice yield gaps into efficiency, resource and technology yield gaps in sub-Saharan Africa. *F. Crop. Res.* 258, 107963 (2020).
15. brahim, A., Saito, K., Bado, V. B. & Wopereis, M. C. S. Thirty years of agronomy research for development in irrigated rice-based cropping systems in the West African Sahel: Achievements and perspectives. *Field Crops Research* 266, 108149 (2021).
16. Saito, K. et al. Yield-limiting macronutrients for rice in sub-Saharan Africa. *Geoderma* 338, 546–554 (2019).
17. Niang, A. et al. Variability and determinants of yields in rice production systems of West Africa. *F. Crop. Res.* 207, 1–12 (2017).
18. Niang, A. et al. Yield variation of rainfed rice as affected by field water availability and N fertilizer use in central Benin. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 110, 293–305 (2018).
19. Asai, H., Saito, K. & Kawamura, K. Application of a Bayesian approach to quantify the impact of nitrogen fertilizer on upland rice yield in sub-Saharan Africa. *F. Crop. Res.* 272, 108284 (2021).
20. Futakuchi, K. et al. History and progress in genetic improvement for enhancing rice yield in sub-Saharan Africa. *Field Crops Research* 267, 108159 (2021).

21. Rodenburg, J. et al. From rice-like plants to plants liking rice: A review of research on weeds and their management in African rice systems. *F. Crop. Res.* 276, 108397 (2022).
22. Wopereis, M., Diagne, A., Johnson, D. E. & Seck, P. A. Realizing Africa's Rice Promise: Priorities for Action. in *Realizing Africa's Rice Promise* (CAB International, 2013).
23. Saito, K. et al. Agronomic gain: Definition, approach, and application. *Field Crops Research* 270, 108193 (2021).
24. CARD. Coalition for African Rice Development (CARD) Phase 2. 2020 Available at: https://riceforafrica.net/images/card_photos/sc16/sc16_card_presentation.pdf.
25. High-quality rice for Africa. Available at: <https://www.giz.de/en/worldwide/26298.html>. (Accessed: 20th January 2022)
26. Rikolto. Rikolto Global Strategy 2022-2026: A glimpse into the future. Available at: https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/rikolto_global_strategy_summary_2022-2026.pdf.
27. CARD. Rice for Africa - NRDS. (2021). Available at: <https://riceforafrica.net/nrds-page>. (Accessed: 20th January 2022)
28. SRP. The SRP Performance Indicators for Sustainable Rice Cultivation (Version 2.1). (2019). Available at: <http://www.sustainablerice.org>.
29. World Health Organization. World Malaria Report 2021. (2021).
30. Bhatt, S. et al. The effect of malaria control on Plasmodium falciparum in Africa between 2000 and 2015. *Nature* 526, 207–211 (2015).
31. Fillinger, U. & Lindsay, S. W. Larval source management for malaria control in Africa: Myths and reality. *Malaria Journal* 10, 1–10 (2011).
32. Sinka, M. E. et al. The dominant anopheles vectors of human malaria in the Asia-Pacific region: Occurrence data, distribution maps and bionomic précis. *Parasites and Vectors* 4, 89 (2011).
33. Sinka, M. E. et al. The dominant Anopheles vectors of human malaria in Africa, Europe and the Middle East: occurrence data, distribution maps and bionomic précis. *Parasites & Vectors* 3, 117 (2010).
34. Sinka, M. E. et al. The dominant Anopheles vectors of human malaria in the Americas: occurrence data, distribution maps and bionomic précis. *Parasit. Vectors* doi:10.1186/1756-3305-3-117
35. Mutero, C. M., Blank, H., Konradsen, F. & Van Der Hoek, W. Water management for controlling the breeding of Anopheles mosquitoes in rice irrigation schemes in Kenya. *Acta Trop.* 76, 253–263 (2000).
36. Mwangangi, J. et al. Dynamics of immature stages of Anopheles arabiensis and other mosquito species (Diptera: Culicidae) in relation to rice cropping in a rice agro-ecosystem in Kenya. *J. Vector Ecol.* 31, 245–251 (2006).
37. Minakawa, N. & Sonye, G. Relationships Between Occurrence of Anopheles gambiae s. l. (Diptera : Culicidae) and Size and Stability of Larval Habitats. 295–300 (2005).
38. Curtis, C. F. *Appropriate Technology in Vector Control*. (CRC Press, 1989).
39. Chandler, J. A. & Highton, R. B. The succession of mosquito species (Diptera, Culicidae) in rice fields in the Kisumu area of Kenya, and their possible control. *Bulletin of Entomological Research* 65, 295 (1975).
40. Chandler, J. A. & Highton, R. B. The breeding of Anopheles Gambiae Giles (Diptera: Culicidae) in rice fields in the Kisumu area of Kenya. *J. Med. Entomol.* 13, 211–215 (1976).
41. Chandler, J. A., Highton, R. B. & Hill, M. N. Mosquitoes of the Kano Plain, Kenya. I. Results of indoor collections in irrigated and nonirrigated areas using human bait and light traps. *J. Med. Entomol.* 12, 504–510 (1975).
42. Dossou-Yovo, J., Doannio, J. M. C., Diarrassouba, S. & Chauvancy, G. Impact d'aménagements de rizières sur la transmission du paludisme dans la ville de Bouaké, Côte d'Ivoire. (1998).
43. Robert, V. et al. La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Ann Soc Belge Med Trop* 65, 201–214 (1985).
44. Faye, O. et al. [Malaria in the Saharan region of Senegal. 1. Entomological transmission findings]. *Ann. Soc. Belg. Med. Trop.* (1920). 73, 21–30 (1993).

45. Dossou-Yovo, J., Doannio, J. M., Riviere, F. & Duval, J. Rice cultivation and malaria transmission in Bouake city, Cote D'Ivoire. *Acta Trop.* 57, 91–94 (1994).
46. Laventure, S. et al. Le riz source de vie et de mort sur les plateaux de madagascar. *J. Chem. Inf. Model.* 6, 79–86 (1996).
47. Marrama, L. et al. Malaria transmission in Southern Madagascar: Influence of the environment and hydro-agricultural works in sub-arid and humid regions: Part 1. Entomological investigations. *Acta Trop.* 89, 193–203 (2004).
48. Ijumba, J. N. & Lindsay, S. W. Impact of irrigation on malaria in Africa: Paddies paradox. *Med. Vet. Entomol.* 15, 1–11 (2001).
49. Keiser, J. et al. Effect of irrigation and large dams on the burden of malaria on a global and regional scale. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 72, 392–406 (2005).
50. WARDA. West Africa Rice Development Association - Annual Report. (1996).
51. Ijumba, J. N., Mosha, F. W. & Lindsay, S. W. Malaria transmission risk variations derived from different agricultural practices in an irrigated area of northern Tanzania. *Med. Vet. Entomol.* 16, 28–38 (2002).
52. Mutero, C. M. et al. A transdisciplinary perspective on the links between malaria and agroecosystems in Kenya. *Acta Trop.* 89, 171–186 (2004).
53. Boudin, C., Robert, V., Carnevale, P. & Ambroise-Thomas, P. Epidemiology of *Plasmodium falciparum* in a rice field and a savanna area in Burkina Faso. Comparative study on the acquired immunoprotection in native populations. *Acta Trop.* 51, 103–111 (1992).
54. Dolo, G. et al. Malaria transmission in relation to rice cultivation in the irrigated Sahel of Mali. *Acta Trop.* 89, 147–159 (2004).
55. Sissoko, M. S. et al. Malaria incidence in relation to rice cultivation in the irrigated Sahel of Mali. *Acta Trop.* 89, 161–170 (2004).
56. Webster, J., Lines, J., Bruce, J., Armstrong Schellenberg, J. R. M. & Hanson, K. Which delivery systems reach the poor? a review of equity of coverage of ever-treated nets, never-treated nets, and immunisation to reduce child mortality in Africa. *Lancet Infect. Dis.* 5, 709–717 (2005).
57. Taylor, C., Florey, L. & Ye, Y. Equity trends in ownership of insecticide-treated nets in 19 sub-Saharan countries. *Bull. World Health Organ.* 95, 322–332 (2017).
58. Diuk-Wasser, M. A. et al. Vector abundance and malaria transmission in rice-growing villages in Mali. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 72, 725–731 (2005).
59. Moller-Jacobs, L. L., Murdock, C. C. & Thomas, M. B. Capacity of mosquitoes to transmit malaria depends on larval environment. *Parasites and Vectors* 7, 593 (2014).
60. Gimnig, J. E. et al. Density-dependent development of *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) larvae in artificial habitats. *J. Med. Entomol.* 39, 162–172 (2002).
61. Ameneshewa, B. & Service, M. W. The relationship between female body size and survival rate of the malaria vector *Anopheles arabiensis* in Ethiopia. *Med. Vet. Entomol.* 10, 170–172 (1996).
62. Thomson, M. C. et al. Malaria prevalence is inversely related to vector density in The Gambia, West Africa. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 88, 638–643 (1994).
63. Ng'ang'a, P. N. et al. Bed net use and associated factors in a rice farming community in Central Kenya. *Malar. J.* 8, (2009).
64. Muturi, E. J. et al. Effect of rice cultivation on malaria transmission in central Kenya. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 78, 270–275 (2008).
65. Zhang, S. et al. *Anopheles* Vectors in Mainland China While Approaching Malaria Elimination. *Trends Parasitol.* 33, 889–900 (2017).
66. Sabatinelli, G., Ejov, M. & Joergensen, P. Malaria in the WHO European Region (1971-1999). *Euro Surveill.* 6, 61–65 (2001).

67. Bruce-Chwatt, L. J. & Zulueta, J. de. Malaria eradication in Portugal. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 71, 232–240 (1977).
68. Piperaki, E.-T. Malaria Eradication in the European World: Historical Perspective and Imminent Threats. in *Towards Malaria Elimination - A Leap Forward* (InTech, 2018). doi:10.5772/intechopen.76435
69. Lacey, L. & Lacey, C. The medical importance of riceland mosquitoes and their control using alternatives to chemical insecticides. *J. Am. Mosq. Control Assoc. Suppl.* 2, 1–93 (1990).
70. Keiser, J., Utzinger, J. & Singer, B. H. The potential of intermittent irrigation for increasing rice yields, lowering water consumption, reducing methane emissions, and controlling malaria in African rice fields. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 18, 329–340 (2002).
71. Yap, H. H., Lau, B. L. & Leong, Y. P. Laboratory and field tests of temephos (AbateR) on mosquito larvae and non-target organisms in rice fields in Malaysia. *South East Asian J. Trop. Med. Public Heal.* 13, (1982).
72. Allen, R. A., Wilkes, W. W., Lewis, C. N. & Meisch, M. V. Riceland Mosquito Management Practices for *Anopheles quadrimaculatus* Larvae. <https://doi.org/10.2987/5792.124.534-537> (2008).
73. JA, D., CL, M. & MV, M. Efficacy of VectoLex WDG against *Anopheles quadrimaculatus* and *Psorophora columbiae* larvae in Arkansas and Mississippi rice. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 17, 231–237 (2001).
74. HJ, T., LC, L., YL, W. & JG, F. Evaluation of various control agents against mosquito larvae in rice paddies in Taiwan. *J. Vector Ecol.* 30, 126–132 (2005).
75. Sundararaj, R. & Reuben, R. Evaluation of a microgel droplet formulation of *Bacillus sphaericus* 1593 M (Biocide-S) for control of mosquito larvae in rice fields in southern India. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 7, 556–559 (1991).
76. Bukhari, T., Takken, W., Githeko, A. K. & Koenraadt, C. J. M. Efficacy of Aquatain, a Monomolecular Film, for the Control of Malaria Vectors in Rice Paddies. *PLoS One* 6, e21713 (2011).
77. Washino, R. K., Whitesell, K. G., Sherman, E. J., McKenna, R. J. & Kramer, M. C. Rice field mosquito-control studies with low volume dursban sprays in Colusa County, California 3. Effects upon target organisms. *Mosq. News* 32, 375–+ (1972).
78. Kamel, O. M., Mahdi, A. H., Merk, W. & Beckmann, K. Ultra low volume aerial spraying of iodofenphos against mosquitoes over rice fields and villages in the Arab Republic of Egypt in 1971. *Mosq. News* 32, 514–519 (1972).
79. Yu, H. S., Yun, Y. H., Lee, D. K. & Lee, W. J. Biological control of mosquito larvae breeding in rice paddies in the presence of fish predator, *Aphyocypris chinensis* in Korea. *Korean J. Entomol.* 11, (1981).
80. Kim, H. C., Lee, J., Yang, K. & Yu, H. S. Biological control of *Anopheles sinensis* with native fish predators (*Aplocheilus* and *Aphyocypris*) and herbivorous fish, *Tilapia* in natural rice fields in Korea. *Korean J. Entomol.* 32, 247–250 (2002).
81. Victor, T. J., Chandrasekaran, B. & Reuben, R. Composite fish culture for mosquito control in rice fields in southern India. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health* 25, 522–527 (1994).
82. Lacey, L. A. & Lacey, C. M. The medical importance of riceland mosquitoes and their control using alternatives to chemical insecticides. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* (1990).
83. Koide, J., Fujimoto, N., Oka, N. & Mostafa, H. Rice-fish Integration in Sub-Saharan Africa: The Challenges for Participatory Water Management. *JARQ* 49, 29–36 (2015).
84. Reuben, R. et al. Biological control methods suitable for community use. in *Appropriate Technology in Vector Control* 139–172 (2018). doi:10.1201/9781351069823
85. Bolay, F. K. & Trpis, M. Control of mosquitoes with *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* and larvivorous fish, *Tilapia nilotica*, in rice fields in Liberia, West Africa. *Isr. J. Entomol.* 23, 77–82 (1989).
86. Koide, J., Fujimoto, N., Oka, N. & Mostafa, H. Rice-fish integration in Sub-Saharan Africa: The challenges for participatory water management. *Japan Agric. Res. Q.* 49, 29–36 (2015).
87. International Rice Research Institute. Vector-borne disease control in humans through rice agroecosystem management. (1988). doi:10.1016/0169-4758(89)90277-9

88. LiangLiang, H. et al. Development of rice-fish system: today and tomorrow. *Zhongguo Shengtai Nongye Xuebao / Chinese J. Eco-Agriculture* 23, 268–275 (2015).
89. van der Hoek, W. et al. Alternate Wet/Dry Irrigation in Rice Cultivation: A Practical Way to Save Water and Control Malaria and Japanese Encephalitis? Res. Rep. 47, Int. Water Manag. Institute, Colombo-Sri Lanka, 1–30 (2001). doi:<http://dx.doi.org/10.3910/2009.053>
90. Cates, M. D. Effect of improved rice farming techniques on mosquito populations in Central Taiwan. *Mosq. News* 28, 582-pp (1968).
91. Russell, P. F. & Ramanatha Rao, H. The Anopheles of Ricefields in South-eastern Madras. *J. Malar. Inst. India* 3, (1940).
92. ANTOINE, M. Prevention of Rural Malaria by Intermittent Irrigation of Ricefields. *Prev. Rural Malar. by Intermittent Irrig. Ricefields*.
93. Knipe, F. W. & Russell, P. F. A Demonstration Project in the Control of Rural Irrigation Malaria by Antilarval Measures. *J. Malar. Inst. India* 4, (1942).
94. Ananyan, S. A. The Experiment of inter-rupted Irrigation of Rice Fields as a Control Measure against Malaria in Armenia in 1928. *Trop. meditsina i Vet.* 8, (1930).
95. Rajendran, R., Reuben, R., Purushothaman, S. & Veerapatran, R. Prospects and problems of intermittent irrigation for control of vector breeding in rice fields in southern India. *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 89, 541–549 (1995).
96. Mogi, M. Effect of intermittent irrigation on mosquitoes (Diptera: Culicidae) and larvivorous predators in rice fields. *J. Med. Entomol.* 30, 309–319 (1993).
97. Hill, R. B. & Cambournac, F. J. C. Intermittent Irrigation in Rice Cultivation, and its Effect on Yield, Water Consumption and Anopheles Production. *Am. J. Trop. Med.* 21, 123–144 (1941).
98. Luh, P. L. The wet irrigation method of mosquito control in rice fields: an experience in intermittent irrigation in China. *FAO Irrig. Drain. Pap.* 41, 133–136 (1984).
99. Burger, J. & Gochfeld, M. The tragedy of the commons 30 years later. *Environment* 40, 4–13 (1998).
100. Takagi, M., Sugiyama, A. & Maruyama, K. Effect of Rice Plant Covering on the Density of Mosquito Larvae and Other Insects in Rice Fields. *Appl Entomol Zool* 31, 75–80 (1996).
101. Victor, T. J. & Reuben, R. Effects of organic and inorganic fertilisers on mosquito populations in rice fields of southern India. *Med. Vet. Entomol.* 14, 361–368 (2000).
102. Palchick, S. & Washino, R. K. Developmental rates of mosquito larvae in a water management programme. 54, (1986).
103. Martono. Direct impact of agricultural insecticide application on anopheline larvae population with special reference to *An. aconitus donitz* in rice field. *Bul. Penelit. Kesehatan.* 16, (1988).
104. Djègbè, I. et al. Minimal tillage and intermittent flooding farming systems show a potential reduction in the proliferation of Anopheles mosquito larvae in a rice field in Malanville, Northern Benin. *Malar. J.* 19, 333 (2020).
105. Russell, P. F. & Rao, T. R. On relation of mechanical obstruction and shade to ovipositing of Anopheles culicifacies. *J. Exp. Zool.* 91, 303–329 (1942).
106. Chan, K. et al. Rice and Malaria in Africa: A Systematic Review and Meta-Analysis. *SSRN Electron. J.* (2021). doi:[10.2139/ssrn.3822272](https://doi.org/10.2139/ssrn.3822272)

7 著者略歴



Name: ジョー・ラインズ (Jo Lines)

Position: ロンドン大学衛生・熱帯医学大学院教授 (ベクター生物学とマラリアコントロール)

Profile:

マラリア蚊の制御に関する実用的な方法を研究。進化遺伝学、医昆虫学を学んだ後、タンザニアの小さな町で、殺虫剤処理ネットを中心とした媒介蚊制御介入策の研究方法を開発、野外研究所の建設に携わった。その後東南アジア、中国、北米での共同研究に携わり、コンサルタントとして国のマラリア対策プログラムの支援や、マラリア対策プロジェクトの設計・評価にも従事。2008年から2011年まで、ジュネーブにある世界保健機関 (WHO) の世界マラリア計画で、ベクターコントロールユニットのコーディネーターを務め、WHOの政策提言、特に殺虫剤耐性管理のためのグローバルプランの策定を主導した。現在はアフリカのマラリア媒介蚊の薬剤耐性と、人為的なランドスケープにおける「人工マラリア」の増大という2つの主要課題を研究している。



Name: カリスタ・チャン (Kallista Chan)

Position: Research assistant & PhD candidate

Affiliation: ロンドン大学衛生・熱帯医学大学院 研究助手・博士号候補

Profile:

ロンドン大学衛生・熱帯医学大学院 研究助手・博士号候補

感染症疫学と医昆虫学をこれまで研究し、媒介性疾患とその制御、特に、景観や農業がリスクや対策に与える影響など、媒介性疾患の多部門にわたる性質を主要テーマとする。現在、ロンドン大学衛生・熱帯医学大学院の博士課程に在籍し、マラリア媒介動物を育てずに米を栽培する方法を研究している。博士論文では、アフリカ稲作研究所と国際稲作研究所の協力のもと、湿潤・乾燥交互灌漑などの改良型または新規の稲作技術における農業と健康のコベネフィットの可能性を特定する研究に取り組んでいる。



Name: 齋藤 和樹

Position: Principal scientist

Affiliation: アフリカライズセンター 主席研究員

Profile:

コートジボワールを拠点とするアフリカ稲作センターで働く農学者。ラオス北部における焼畑式陸稲生産システムの概要、制約、改善]をテーマに、京都大学で農学博士号を取得。主な研究テーマは、収量格差評価、診断調査、統合的管理手法、栄養管理手法の意思決定支援ツール、農業システム研究、イネの収量ポテンシャルと生物・化学的ストレス耐性の改善など。

アジア(2000～2005年、修士・博士課程)とサブサハラ・アフリカ(2006年～現在)で20年以上の研究経験があり、現在国際農林水産業研究センター(JIRCAS)研究員(2017年～)、東京農工大学非常勤講師(2018年～)も務める。これまでに、査読付き雑誌に100以上の科学論文を執筆、または共著で発表してきた。2015年に若手有望科学者のためのルイ・マラシス国際科学賞を受賞。



Name: アリ・イブラヒム

Position: Principal scientist

Affiliation: アフリカライズセンター システムアグロノミスト

Profile:

OCP Africaで土壌管理と農作物生産の専門家として、持続可能な作物生産のための肥培管理技術の開発と普及に従事した後、2019年からアフリカライズセンターにシステムアグロノミストとして勤務。現在、サブサハラアフリカの農村コミュニティと零細農家の生活、栄養、レジリアンスを改善するための灌漑稲作をメインとした営農における持続可能な集約化と多角化に関する技術の開発、評価、普及を行っている。これまでに、査読付き雑誌に20本以上の論文を執筆、または共著で発表してきた。2015年にガーナのクワメ科学技術大学から総合的土壌肥沃度管理の研究で博士号を取得。2016年に中国科学院(CAS)からPresident's International Fellowship Initiative(PIFI)博士研究員賞を、2021年にOCP Northern Americaと米国農学会主催のEmerging Leader for African Agricultural Transformation(ELAAT)賞を受賞。

特定非営利活動法人 Malaria No More Japan (マラリア・ノーモア・ジャパン) とは

Malaria No More Japan はアメリカに本部を置くマラリア・ノーモアの日本支部として2012年に設立された日本で唯一のマラリアに特化した認定NPO法人です(2013年特定非営利活動法人格取得、2015年認定NPO法人認証)。

日本以外にもイギリスに支部が置かれた国際NGOとして、マラリアのない世界(=ゼロマラリア)を目指しています。ゼロマラリア達成のための政策提言活動、コミュニケーション活動、そして連携促進活動を3本柱に活動を行っています。

- 正式名称:** 特定非営利活動法人Malaria No More Japan
- 代表理事:** 神余 隆博(関西学院理事・同大学教授・国連・外交統括センター長。外務省国際社会協力部長、国際連合日本政府代表部特命全権大使、駐ドイツ大使などを歴任。関西学院大学副学長を経て2018年6月より現職。)
- 設立:** 2012年10月26日
- 事務局所在地:** 〒102-0083 東京都千代田区麹町 3-7-4 秩父屋ビル 8階 株式会社販売促進研究所内
- TEL:** 03-3230-2553
- E-mail:** info@malarianomore.jp

www.malarianomore.jp



Zero

Malaria

2030