

●グローバル化時代の医療・検査事情 47

気候変動と感染症：プラネタリーヘルスの視点から



はし づめ まさ ひろ
橋 爪 真 弘
Masahiro HASHIZUME

I. 人新世と地球環境の変化

18 世紀半ばの産業革命は、人類と地球環境の関係における歴史的な転換点である。この時期以降、経済活動の急速な拡大は、気候変動、生物多様性の喪失、環境汚染といった地球環境への負荷を顕著に増加させた。その結果、地球環境のレジリエンスは大きく低下し、持続可能な社会の構築が喫緊の課題として浮上している。このような環境変化を背景に、2000 年にはノーベル化学賞受賞者のパウル・クルツェンによって「人新世 (Anthropocene)」という概念が提唱された。人新世は、産業革命以降の人類活動が地球システムに与える影響を象徴するものであり、これを理解することで現代の環境問題の本質を捉えることが可能となる。

人新世は、人類活動が地球規模での環境変化を引き起こしているという認識に基づく地質学的な概念であり、その象徴的な特徴として「大加速」と「プラネタリー・バウンダリーズ」の二つの枠組みが挙げられる。「大加速」とは、産業革命以降における経済活動の爆発的な拡大が、資源の過剰消費や環境負荷の急増を引き起こしている現象を指す¹⁾。この現象は、エネルギー消費の増加、化石燃料の利用、都市化の進展といった多くの指標に顕著に現れており、気候変動の加速や生態系の劣化といった地球規模の問題に直結している。

一方、2009 年にヨハン・ロックストロームらが提唱した「プラネタリー・バウンダリーズ」²⁾の概

念は、地球システムの安定性を維持するために必要な境界点を定義している。気候変動、生物圏の健全さ、土地利用変化、淡水利用、生物地球化学的循環、海洋酸性化、大気エアロゾルによる負荷、成層圏オゾン層の破壊、新規化学物質（プラスチック等）という 9 項目が設定されている。これらの項目のうち、すでに気候変動や生物圏の健全さを含む 6 項目で境界点を超過しており、地球システムが持つ環境収容能力の限界が現実のものとなりつつある (図 1)³⁾。さらに 2023 年には、従来の生物物理学的項目に加えて公正性の観点を加えた Earth System Boundaries (地球システムの境界) が設定され、例えば、気候変動においては、1.5°C の気温上昇でも多くの人々が深刻な被害を受ける可能性があるため、1.0°C 未満の上昇を目指すべきだと提唱されている⁴⁾。

中でも気候変動は、他の項目と密接に関連しながら地球システムの安定性に重大な影響を与えている。気候変動が進行することで、生物多様性の喪失や陸域・海洋生態系の崩壊が加速し、それに伴いエコシステムサービスが著しく損なわれる可能性がある。生物多様性の減少は、炭素吸収能力の低下や気候調節機能の弱体化をもたらし、気候変動をさらに悪化させるフィードバックループを形成する。また、気候変動による極端な降水パターンの変化や乾燥化の進行は、淡水資源の供給を不安定化させ、農業生産や飲料水供給に深刻なリスクを生じさせる。これに加え、窒素・リン循環においても、高温環境下での土壌の窒素排出量増加や、水域の富栄養化が進む

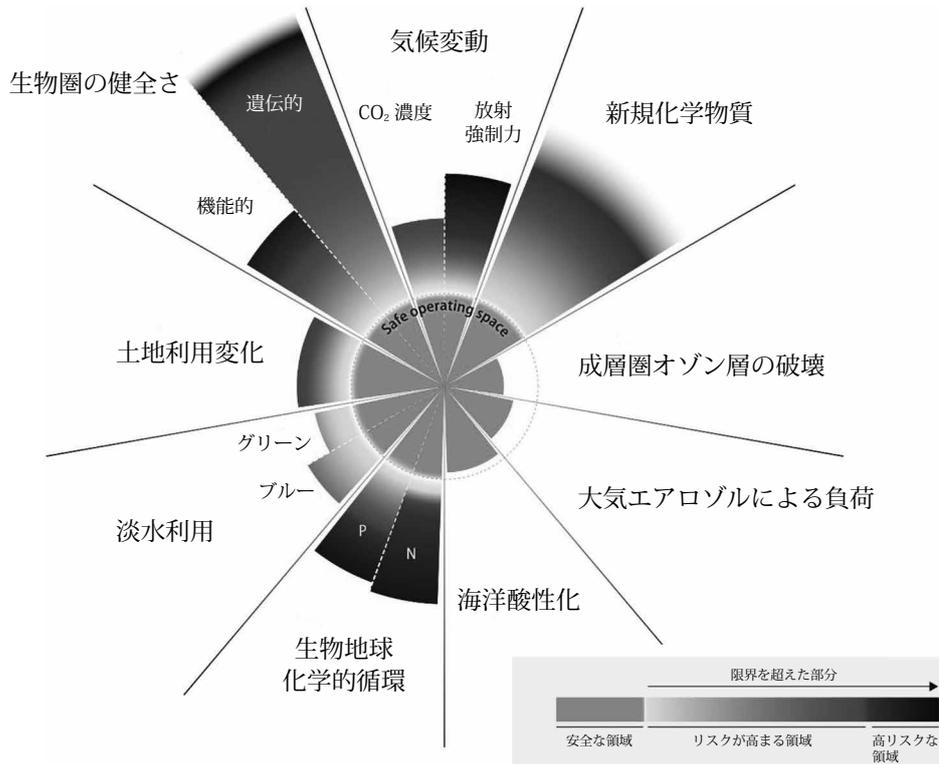


図1. プラネタリー・バウンダリーの9項目の現状

緑色のゾーンは境界の内側にある安全な領域を示す。黄色から赤色はリスクが増大する領域を、紫色は高リスクな領域を表す。

文献3)を参考に著者より作成

(図1は巻末にカラーで掲載しています)

ことで、生態系全体のバランスが崩れる可能性が指摘されている。これらの相互作用により、プラネタリー・バウンダリーの項目間で影響が波及し合い、地球システム全体の安定性を揺るがしかねない複雑な連鎖が形成されている。したがって、気候変動に対処することは、単に気温上昇を抑制するだけでなく、他の項目の境界点を再び安全な範囲内に戻すための鍵となる。

II. プラネタリーヘルス

プラネタリー・バウンダリーの内側でも、人類の健康・ウェルビーイングが安定しているわけではない。人間社会システムは、生物圏システムと密接に関連しており、その基盤は地球システムの上に成り立っている。気候変動、生物多様性の減少、海洋酸性化、化学物質汚染、土地利用の変化、大気や水質の汚染といった地球規模の環境問題は食料や栄養、

感染症、非感染性疾患、移民や紛争、メンタルヘルスなど、私たちの健康に深く関連している。ランセット誌は2009年の特集号で、気候変動が21世紀におけるグローバルヘルスの最大の脅威であることを強調した⁵⁾。

こうした地球規模の健康問題を背景に、プラネタリーヘルスという新たな視点に対する関心が高まっている。プラネタリーヘルスの概念は、2014年に米ロックフェラー財団とランセット誌が共同で設けたプラネタリーヘルス委員会によって提唱された。この委員会では、「人類の未来を形作る政治、経済、社会などの人間システムと、人類が繁栄できる安全な環境限界を規定する地球の自然システムに賢明に配慮することで、世界で達成可能な最高水準の健康、ウェルビーイング、公正を実現すること」とプラネタリーヘルスを定義した⁶⁾。これは、食料、燃料、水、住居など現代文明に不可欠な基本的サービス(essential services)が提供される一方で、自然シス

テムの破壊という代償の上に人類の健康が成り立っている現状に対する強い危機感と反省から生まれた概念である。地球上のある集団が非持続的に環境を利用して健康を維持している場合、それは他の集団や将来世代の健康を犠牲にしている可能性があり、そのため集団の健康状態を評価する際には、環境への負荷を必ず考慮しなければならないことが強調された。生態系が人間の健康をどのように支えているかを理解し、医学や公衆衛生学だけでなく、環境学や生態学、気象学、社会学、政治経済学など学問分野を超えた多面的で学際的なアプローチが重要であることが広く認識されつつある⁶⁾。人間とその文明の存在基盤である地球環境や、生態系の保全と人類の健康の共存を重視し、現世代のみならず将来世代の健康とウェルビーイングを強調する点は、従来の公衆衛生や国際保健、グローバルヘルスにはなかった視点であり、早急な意識の転換が求められている。地球生態系の中における人間社会の視点を、価値規範や行動基準として持つことが、これまで以上に強く求められている。

Ⅲ. 気候変動と感染症

気候変動は、世界の多くの地域においてすでに人々の健康に重大な影響を及ぼしており、その影響は今後さらに拡大すると予測されている。気候変動による健康影響は、大きく分けて直接的な影響と間接的な影響に分類される。直接的な影響としては、暑熱による熱中症や、豪雨や暴風、洪水などによる外傷や溺水が挙げられる。一方、間接的な影響には、節足動物媒介感染症や水系感染症、食品媒介感染症、大気汚染の悪化による循環器および呼吸器疾患、さらには異常気象等による食料生産、供給システムの混乱による低栄養などが含まれる。本稿では、気候変動に伴う感染症の疫学的変化について概説する。

1. 節足動物媒介感染症

気候変動に伴う降水量の変化、洪水、干ばつなどの影響により、媒介生物（ベクター）の分布域や密度が変化し、病原体や宿主への影響を通じて節足動物媒介感染症の発生リスクが変動すると考えられる^{7,8)}。なお、ベクターの分布や密度、感染症の発

生頻度は気象因子だけでなく、土地利用の変化、増幅動物や宿主の数、駆除対策の有無など、多様な要因によって左右される。

1) デング熱

デング熱は、ネッタイシマカ (*Aedes aegypti*) およびヒトスジシマカ (*Aedes albopictus*) を主な媒介蚊とするデングウイルス感染症である。これらの媒介蚊は自然にできる小さい水たまり（切り株など）や、プラスチック容器や古タイヤなどの人工容器に溜まった雨水に産卵するため、ヒトの生活圏に近い場所に生息する。最近数十年で熱帯地域の都市部で流行が増加し、大きな問題となっている。日本では、第二次世界大戦中にヒトスジシマカを媒介蚊とする流行が発生したが、その後、2014年の国内流行まで約70年間にわたり国内流行はみられなかった。新型コロナウイルス感染症の流行以前（2019年以前）は、2014年の国内流行を除き、年間300～400例前後の報告があり⁹⁾、ほぼ全例輸入症例であった。

気温が上昇すると、蚊体内でのウイルス複製が促進されるほか、媒介蚊の増殖や吸血頻度が増加し、感染リスクが高まる。また、患者発生数は雨季に増加する傾向があり、これは降雨により媒介蚊の繁殖地が増えるためと考えられる。ただし、大雨が発生すると媒介蚊の幼虫が流され、患者数が減少する場合もある¹⁰⁾。アジアや南米、太平洋諸島などでは、エルニーニョ現象がデング熱流行リスクの増加と関連していることが指摘されている¹¹⁾。台湾南部では、2000年代以降に大規模な流行が見られるようになり、その主な要因として、温暖化によりネッタイシマカが生息可能となったことが挙げられている。日本国内では、ネッタイシマカの生息は確認されていないが、ヒトスジシマカは広く分布している。国立感染症研究所の調査では、分布域の北限が1950年代は北関東であったが、年々北上し現在では東北地方北部で定着が認められている¹²⁾。

気候変動に伴うデング熱の感染リスク評価には、気温や降雨量を考慮した基本再生産数 (R_0) が指標として用いられている。 R_0 は、ある感染症に対して免疫を持たない集団内で1人の感染者から何人の二次感染者が発生するかを示す値で、感染症の伝播力を把握する上で重要である。報告によると、

1951～1960年と比較して、2012～2021年にデング熱の R_0 は、ネッタイシマカを媒介とする場合で11.5%、ヒトスジシマカを媒介とする場合で12.0%増加している(図2)¹³⁾。この増加は、気温上昇による媒介蚊の生存期間の延長や活動範囲の拡大が、デングウイルスの伝播を促進したことに起因すると考えられる。

将来予測によれば、ネッタイシマカの生息数は今世紀末までに20～30%増加すると推定されている(図3)¹⁴⁾。気候変動の影響により、将来の人口変化を考慮しない場合でも、2061年から2080年の間にネッタイシマカへの曝露人口が8～12%増加すると予測されている¹⁵⁾。さらに、温暖化対策が十分に実施されず温暖化が進行した場合(SSP2-6.0)、デング熱のリスクは北米、アジア、ヨーロッパ、サハラ以南のアフリカで時空間的に拡大するとされている。2080年

には新たに22億5,000万人がデング熱のリスクにさらされる可能性が示されている¹⁶⁾。

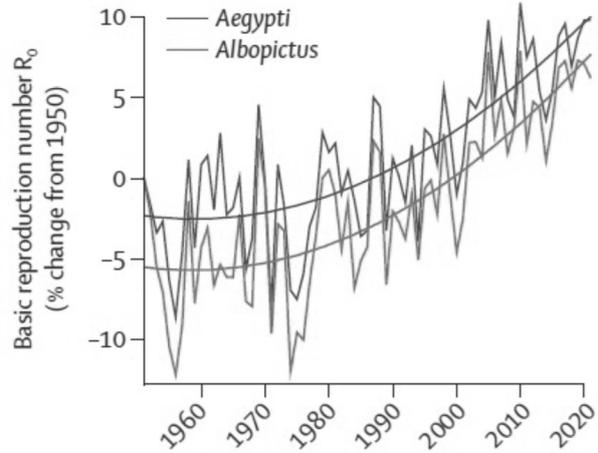


図2. デング熱の基本再生産数(R_0)の経年変化

文献13)より転載

(図2は巻末にカラーで掲載しています)

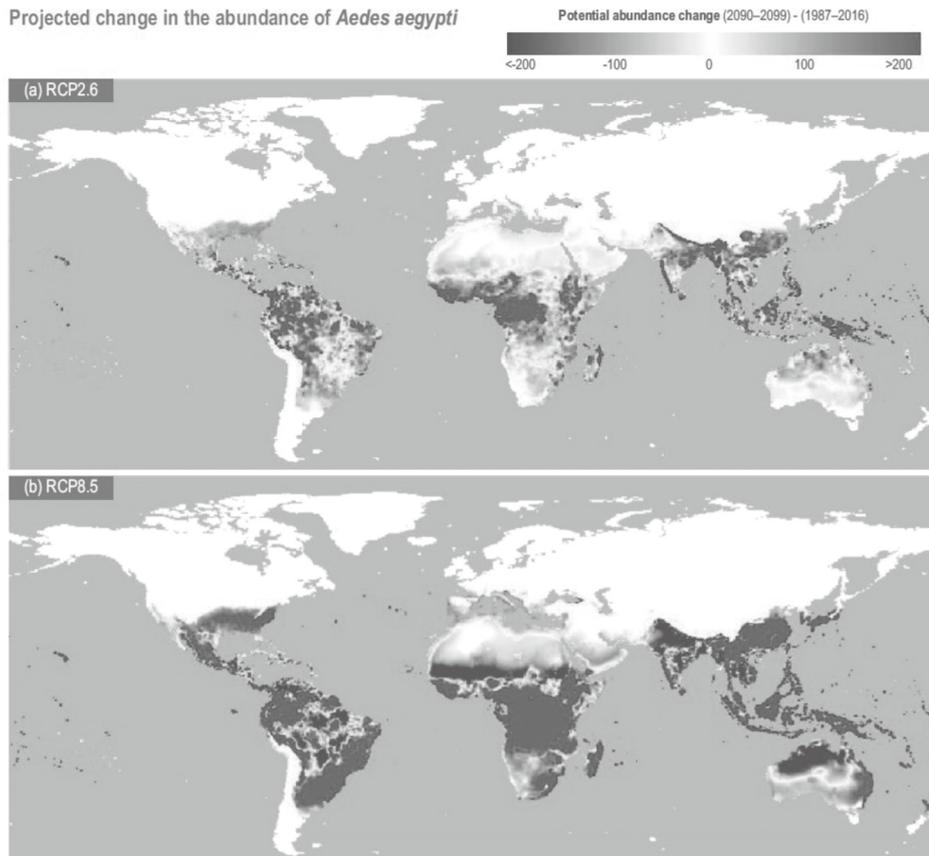


図3. 21世紀中におけるネッタイシマカ個体数の変化(幼虫生息地あたり)
(1987～2016年を基準とした2090～2099年の変化)

上段は温暖化の抑制が成功した場合のシナリオ(RCP2.6)、下段は温暖化が進行した場合のシナリオ(RCP8.5)。

文献14)より転載

(図3は巻末にカラーで掲載しています)

2) マラリア

マラリアは世界で年間2億6,000万人以上が罹患し、約60万人が死亡する最も重要な感染症の一つである¹⁷⁾。マラリアを媒介するハマダラカが生息するには、一定以上の最低気温が必要であり、そのためマラリアの分布は、社会インフラが整った主要先進国を除き、主に気候条件によって規定されている。温暖化による冬の気温上昇により、マラリア流行地域の周辺部でもハマダラカが生息可能となり、流行地域が拡大する可能性がある。例えば、以前は低流行地であった東アフリカ高地では、1990年代に大規模なマラリア流行が発生した¹⁸⁾。これは温暖化に伴うハマダラカの生息域拡大が一因と考えられている（マラリア原虫の薬剤耐性や土地利用の変化、流行地域間の人口移動、インド洋の大気海洋現象の影響なども関与している可能性が議論されている¹⁹⁾。またエルニーニョ現象によって、南アジア、南米、アフリカ等の一部地域ではマラリア流行のリスクが高まることも明らかとなっている¹¹⁾。

気温、降水量、湿度、土地分類を基に算出されたハマダラカ属 (*Anopheles*) による *Plasmodium falciparum* の伝播に適した年間月数は、1951～1960年から2012～2021年の間に、WHOのアメリカ地域およびアフリカ地域の高地（海拔1,500メートル以上）で顕著に増加した。具体的には、アメリカ地域の高地で31.3%、アフリカ地域の高地で13.8%の増加が確認されている（図4）¹³⁾。この変化は、気候変動がすでに疾病負荷の高い低中所得国により大きな影響を及ぼし、高所得国との疾病負荷の格差を拡大させる要因となっていることを示している。

気候変動により、将来的にマラリアの分布や伝播の強度は地域ごとに異なる変化が予測されている。今世紀末までに、アフリカ東部、東アジア、アメリカ北東部などでは、1970～1999年と比較してマラリアの伝播に適した月数が増加する可能性が報告されている（図5）²⁰⁾。WHOのアフリカ地域、東地中海地域、およびアメリカ地域の高地（標高1,000メートル以上）では、マラリア感染可能な期間が最大1.6か月増加すると予測されている。マラリアの感染リスク人口は、2071～2078年には約47億人増加すると予測された（RCP8.5-SSP2）。

2. 水系感染症

気温の上昇により、水系感染症の病原体の増殖、生存、感染力に直接的な影響が及ぶだけでなく、環境中での病原体の動態や人々の行動変容を通じて間接的にその伝播に影響が及ぶ。高温環境下では、特に夏季にサルモネラ症やカンピロバクター症などの細菌性下痢症のリスクが高まる一方、ロタウイルスなどのウイルス性下痢症感染は、減少する傾向がある²¹⁾。また、高温環境下では、水処理施設での微生物処理の効率が向上することがあるものの、極端な高温では水中の有機物の溶解や濁りが増加し、塩素消毒や紫外線照射の効率が低下する可能性がある²²⁾。加えて、暑さにより飲料水や水浴等の水需要が極端に高まると、供給が逼迫し結果、これら感染症のリスクが増加しうる。

また、豪雨や洪水によって牧草地や農地に蓄積した動物糞便由来の病原体が河川に流入したり、都市部では雨水が下水道に流れ込み、合流式下水道の場合、汚水混じりの雨水が河川などに放流され、地域住民が水系感染症に曝露するリスクが高まる²²⁾。洪水により医療施設が浸水すれば、医療の提供が妨げられることもある。

一方、干ばつは水源の減少を招き、病原体の濃度が増すことで感染リスクが増大する。特に水不足の時期には、水道管の圧力が低下し、汚染物質の浸入が容易になる。干ばつと水系感染症の発生には

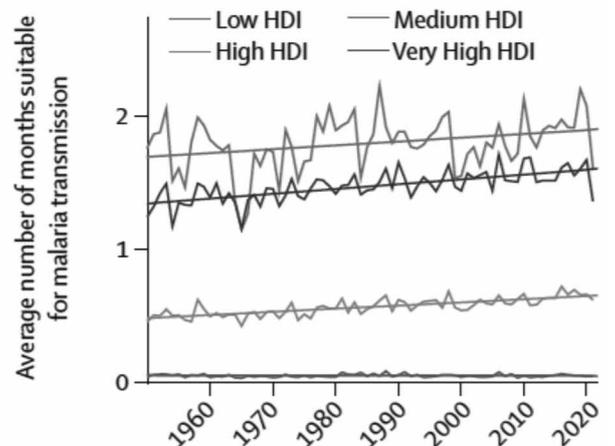


図4. 高地におけるマラリア伝播可能な年間月数の変化
HDI=human development index (人間開発指数)

文献13)より転載

(図4は巻末にカラーで掲載しています)

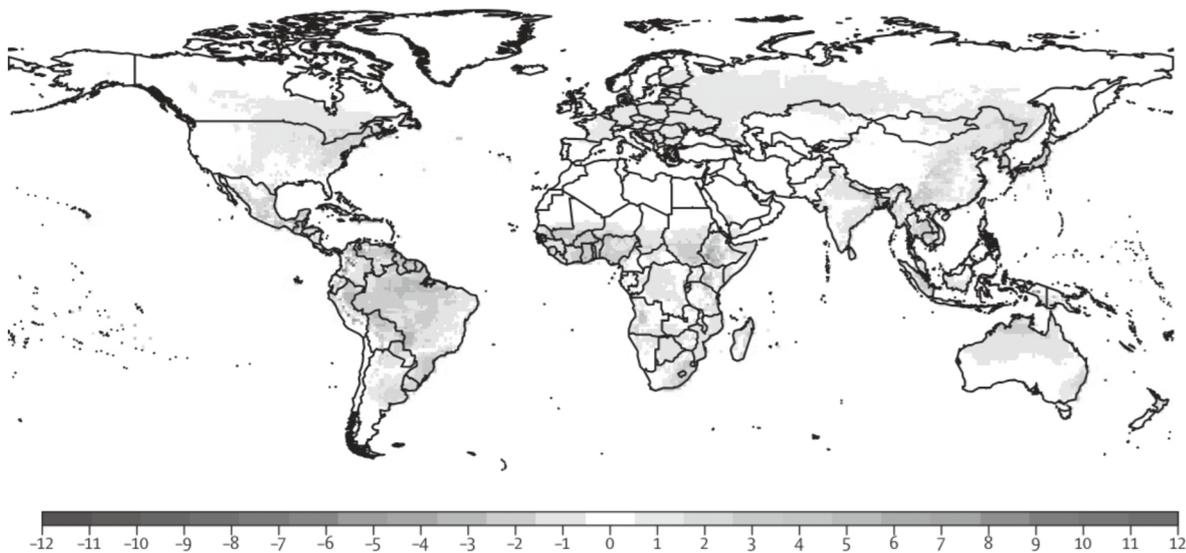


図5. 1970～1999年に対する2070～2099年におけるマラリア感染可能な年間月数（伝播季節の長さ（LTS））の変化のアンサンブル平均

図は RCP8.5-SSP5（緩和に対する課題が高く、適応に対する課題が低い）シナリオの場合。青色は LTS の減少を示し、オレンジ色またはピンク色は LTS（月単位）の増加を示す。RCP = 代表的濃度経路、SSP = 共有社会経済経路

文献20)より転載

(図5は巻末にカラーで掲載しています)

関連があり、特に5歳未満の子どもにおける下痢発生率が増加することが示されている。水不足により、手洗いの頻度が大幅に減少することが一つの理由と考えられる²²⁾。

また、気候変動に伴う海面上昇や高潮により洪水が発生し、安全な飲料水や衛生設備の不足する地域では、水系感染症の流行リスクが高まる。2019年にはアフリカ・モザンビークのサイクロン被災地で、洪水による大規模なコレラの流行が発生した²³⁾。

温暖な汽水域に生息するビブリオ属菌は、気候変動による海水温上昇により、生息域が北方へ拡大している。たとえば、2004年のアラスカでの *Vibrio parahaemolyticus* アウトブレイクは、海水温の異常上昇が要因であった²⁴⁾。また、バルト海でも水温上昇によりビブリオ感染が増加しているという報告がある²⁵⁾。*V. vulnificus* については、中～高水準の温室効果ガス排出シナリオ下で、2080年までに米国東海岸全域に広がると予測されている²⁶⁾。コレラ (*V. cholerae* 感染症) は上下水道が整っていない地域では、豪雨により浄化槽があふれ、コレラ菌が表層水へ流入し、生活用水が汚染されることにより広がる。

コレラの流行地域であるバングラデシュでは、1998年の洪水時にコレラ患者数が通常の約6倍に増加した²⁷⁾。また同国では雨量とコレラ患者数の相関や、ベンガル湾の海面水温が上昇すると、コレラ患者数が増加することも報告されている²⁸⁾。これは、海面水温上昇によりコレラ菌が付着するプランクトンが海水中で増殖するためと考えられている²⁹⁾。

クリプトスポリジウム原虫は、オーシストとして糞便中に排出され、湿った土壌や水中で数か月間生存可能である。豪雨時にはオーシストが水路に流れ込み、水処理施設を汚染することがある。特に発展途上国では、クリプトスポリジウムは5歳未満の子どもにおける下痢や死亡の原因となり、栄養失調や発達遅滞とも関連している³⁰⁾。1993年の米国ミルウォーキーでの豪雨では、浄水場の汚染による史上最大のアウトブレイクが発生した³¹⁾。

レプトスピラ症は、レプトスピラに感染したげっ歯類等の尿を介して広がり、水中や土壌中で数か月間生存する。症状は発熱、頭痛、筋肉痛であるが、進行すると重篤な合併症（ワイル病、肺出血症候群、髄膜炎等）を伴うことがある。洪水後やエルニーニョ現象による海

面水温の上昇により、汚染された水や土壌に接触することで人間に感染が広がり、ブラジルや南太平洋の都市部で大規模な流行が発生している^{32) 33)}。

気候変動に伴う将来の腸管感染症の超過死亡予測によると、楽観的なシナリオ（2100年までに気温上昇を2°C未満に抑える場合）と悲観的なシナリオ（2100年までに気温が3°Cから4°C上昇する場合）では、それぞれ2050年から2065年の間に年間1万人から最大7万5,000人に達すると予測されている（図6）³⁴⁾。主にサハラ砂漠以南のアフリカと南アジア地域で超過死亡が予測されている。この二つのシナリオによって超過死亡数が大きく異なっていることは、将来の水系感染症リスクを軽減するために、地球温暖化を抑制する緩和策と公衆衛生対策等の適応策がいかに重要であるかを示している。

おわりに

気候変動への対策は、原因となる温室効果ガスの排出を削減する「緩和策」と、その影響を最小限に抑えるための「適応策」を並行して進めることが必須である。温暖化の影響がすでに世界各地で顕著になる中、「緩和策」の効果が現れるのを待っていて

は被害を避けることができないため、生活や行動様式、社会制度の変革や防災への投資など「適応策」の実施が不可欠となる。

感染症対策としての適応策は、例えば、従来の感染症サーベイランスやベクターのサーベイランス、気象（予測）データを統合し、感染症流行の予測モデルを基に、早期警戒警報システムを構築することが挙げられる。さらに衛星リモートセンシングや地理情報システム（GIS）技術を活用して感染症リスクの時空間的分布を可視化し、人工知能や機械学習の技術を取り入れることで、効率的・効果的な監視体制を構築する可能性が期待される。これにより、感染症の発生を数週間から数か月前に予測することが可能となり、サーベイランス活動や予防活動、アウトブレイク対応に必要な人的・経済的資源をリスクの高い地域に的確に集中させることが可能となることが示唆されている³⁵⁾。例えば、南米コロンビアでは、気象データ、人口動態、デング熱患者の報告データを活用した早期警戒システムの有効性を評価する研究が行われ、気温、降水量、湿度、高度、人口密度を考慮することで、発生率の75%を1～5か月前に予測し、12.5%を発生当月に検知した³⁶⁾。この他、気象データを用いた早期警戒システムは、マラリアやデング熱などでも開発されているもの

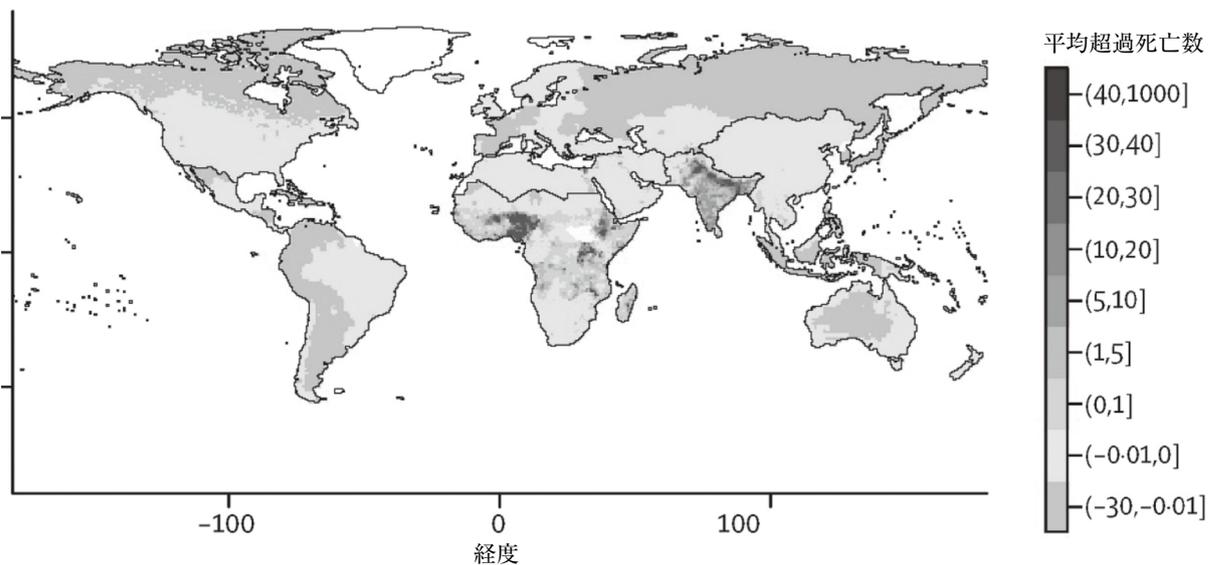


図6. 悲観的な気候シナリオ（SSP3-RCP6.0）に基づく2080～2095年における腸管感染症による超過死亡数

SSP = 共通社会経済経路、RCP = 代表濃度経路

文献34)より転載

（図6は巻末にカラーで掲載しています）

の、サーベイランスデータの不足や運用予算が十分でないなどの理由で、広範な活用には至っていないのが現状である。^{37,38)}

また、気候変動による感染症リスクの増大に対処するためには、これまでも増して医療従事者が的確にこれら感染症の予防、診断、治療の知識や能力を向上させることが求められる。そのため、最前線の医療従事者や研究者のための研修や教育ワークショップを開発・実施することにより、感染症の早期発見と予防に貢献すると考えられる。わが国においては、令和4年度に文部科学省の医学教育モデル・コア・カリキュラムが改訂され、「気候変動と医療」が医学部の学修目標に加えられたことは一定の前進である。

また、国際的な感染症監視体制の強化のために、WHO や地域事務所を通じて情報や知識を共有することが重要である。さらに、地域社会と連携し、感染症対策や軽減策を実施することも不可欠である。気候変動の健康リスクに関する啓発や媒介蚊の繁殖地の特定と除去などの予防策、豪雨に伴う洪水対策や上下水道の整備などが、気候変動の影響に対する地域のレジリエンスを高めることにつながる。

一方、保健医療分野からの温室効果ガス排出は、全排出量の4～5%を占めており、緩和策をいっそう進めるにあたり重要な役割を担っている。保健医療分野からの排出のうち、医療施設からの温室効果ガス直接排出 (Scope 1) が17%、保健医療の現場で使用する電気、冷暖房等のエネルギーの発電による排出 (Scope 2) が12%、保健医療の現場で使用する資機材の製造、輸送、廃棄等のサプライチェーンに伴う間接排出が (Scope 3) 71%を占めている³⁹⁾。英国のNHSは、2045年までにサプライチェーンを含めたNHSからの温室効果ガス排出をゼロにすることを宣言している⁴⁰⁾。WHOは2021年に開催されたCOP26 (第26回気候変動枠組条約締約国会議)におけるCOP26保健プログラムに基づいて、「気候変動と健康に関する変革的行動のためのアライアンス (ATACH)」を設立し、加盟各国に、持続可能で低炭素な保健システム (sustainable, low-carbon health systems) と気候変動に対して強靱な保健システム (climate-resilient health systems) 構築を求めた⁴¹⁾。日本政府は、2024年にATACHへの参加を表明したことで、今後国内でこれらの目標達成に向けた取り組みを強化することが期待されている。

文 献

- 1) Steffen W, Broadgate W, Deutsch L, Gaffney O, Ludwig C. The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *Anthropocene Revi.* 2015; 2(1): 81-98.
- 2) Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin FS, Lambin EF, et al. A safe operating space for humanity. *Nature.* 2009; 461(7263): 472-5.
- 3) Richardson K, Steffen W, Lucht W, Bendtsen J, Cornell SE, Donges JF, et al. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Sci Adv.* 2023; 9(37): eadh2458. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>
- 4) Rockström J, Gupta J, Qin D, Lade SJ, Abrams JF, Andersen LS, et al. Safe and just Earth system boundaries. *Nature.* 2023; 619(7968): 102-11.
- 5) A Commission on climate change. *Lancet.* 2009; 373(9676): 1659.
- 6) Whitmee S, Haines A, Beyrer C, Boltz F, Capon AG, de Souza Dias BF, et al. Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health. *Lancet.* 2015; 386(10007): 1973-2028.
- 7) Anikeeva O, Hansen A, Varghese B, Borg M, Zhang Y, Xiang J, et al. The impact of increasing temperatures due to climate change on infectious diseases. *BMJ.* 2024; 387: e079343.
- 8) Thomson MC, Stanberry LR. Climate change and vector-borne diseases. *N Engl J Med.* 2022; 387(21): 1969-78.
- 9) 国立感染症研究所. 日本の輸入デング熱症例の動向について <https://www.niid.go.jp/niid/ja/dengue-m/690-id-sc/6663-dengue-imported.html>. (引用日 2025年2月5日)
- 10) Banu S, Hu W, Hurst C, Tong S. Dengue transmission in the Asia-Pacific region: impact of climate change and socio-environmental factors. *Trop Med Int Health.* 2011; 16(5): 598-607.
- 11) Haines A, Lam HCY. El Niño and health in an era of unprecedented climate change. *Lancet.* 2023; 402(10415): 1811-3.
- 12) 小林睦生. ヒトスジシマカの生態と東北地方における分布域の拡大. *病原微生物検出情報月報.* 2011; 32: 167-8.
- 13) Romanello M, Di Napoli C, Drummond P, Green C, Kennard H, Lampard P, et al. The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. *Lancet.* 2022; 400(10363): 1619-54. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- 14) Liu-Helmersson J, Brännström Å, Sewe MO, Semenza JC, Rocklöv J. Estimating Past, Present, and Future Trends in the Global Distribution and Abundance of the Arbovirus Vector. *Front Public Health.* 2019; 7: 148. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- 15) Monaghan A, Sampson K, Steinhoff D, Ernst K, Ebi K, Jones B, et al. The potential impacts of 21st century climatic and population changes on human exposure to the

- virus vector mosquito *Aedes aegypti*. Climatic Change. 2018; 146(3-4): 487-500.
- 16) Messina J, Brady O, Golding N, Kraemer M, Wint G, Ray S, et al. The current and future global distribution and population at risk of dengue. Nat. Microbiol. 2019; 4(9): 1508-15.
 - 17) World Health Organization. World malaria report 2024: addressing inequity in the global malaria response.; 2024. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240104440> (引用日 2025年2月5日)
 - 18) Hashizume M, Terao T, Minakawa N. The Indian Ocean Dipole and malaria risk in the highlands of western Kenya. Proc Natl Acad Sci U S A. 2009; 106(6): 1857-62
 - 19) Chaves L, Koenraadt C. Climate change and highland malaria: fresh air for a hot debate. Q. Rev. Biol. 2010; 85(1): 27-55.
 - 20) Colón-González F, Sewe M, Tompkins A, Sjödin H, Casas A, Rocklöv J, et al. Projecting the risk of mosquito-borne diseases in a warmer and more populated world: a multi-model, multi-scenario intercomparison modelling study. Lancet Planet Health. 2021; 5(7): E404-E14. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
 - 21) Chua PLC, Ng CFS, Tobias A, Seposo XT, Hashizume M. Associations between ambient temperature and enteric infections by pathogen: a systematic review and meta-analysis. Lancet Planet Health. 2022; 6(3): e202-e18.
 - 22) Semenza JC, Ko AI. Waterborne diseases that are sensitive to climate variability and climate change. N Engl J Med. 2023; 389(23): 2175-87.
 - 23) Chen WH, Azman AS. Mitigating cholera in the aftermath of cyclone Idai. Am J Trop Med Hyg. 2019; 101(5): 960-2.
 - 24) McLaughlin JB, DePaola A, Bopp CA, Martinek KA, Napolilli NP, Allison CG, et al. Outbreak of *Vibrio parahaemolyticus* gastroenteritis associated with Alaskan oysters. N Engl J Med. 2005; 353(14): 1463-70.
 - 25) Semenza J, Trinanés J, Lohr W, Sudre B, Löfdahl M, Martínez-Urtaza J, et al. Environmental suitability of *Vibrio* infections in a warming climate: an early warning system. Environ. Health Perspect. 2017; 125(10).
 - 26) Archer E, Baker-Austin C, Osborn T, Jones N, Martínez-Urtaza J, Trinanés J, et al. Climate warming and increasing *Vibrio vulnificus* infections in North America. Sci. Rep. 2023; 13(1).
 - 27) Hashizume M, Wagatsuma Y, Faruque A, Hayashi T, Hunter P, Armstrong B, et al. Factors determining vulnerability to diarrhoea during and after severe floods in Bangladesh. J. Water Health. 2008; 6(3): 323-32.
 - 28) Hashizume M, Faruque A, Terao T, Yunus M, Streatfield K, Yamamoto T, et al. The Indian Ocean Dipole and cholera incidence in Bangladesh: a time-series analysis. Environ. Health Perspect. 2011; 119(2): 239-44.
 - 29) Lobitz B, Beck L, Huq A, Wood B, Fuchs G, Faruque A, et al. Climate and infectious disease: Use of remote sensing for detection of *Vibrio cholerae* by indirect measurement. Proc Natl Acad Sci USA 2000; 97(4): 1438-43.
 - 30) Khalil I, Troeger C, Rao P, Blacker B, Brown A, Brewer T, et al. Morbidity, mortality, and long-term consequences associated with diarrhoea from *Cryptosporidium* infection in children younger than 5 years: a meta-analyses study. Lancet Glob Health. 2018; 6(7): E758-E68.
 - 31) Mackenzie W, Hoxie N, Proctor M, Gradus M, Blair K, Peterson D, et al. A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium infection transmitted through the public water-supply. N Engl J Med. 1994; 331(3): 161-7.
 - 32) Cunha M, Costa F, Ribeiro G, Carvalho M, Reis R, Nery N, et al. Rainfall and other meteorological factors as drivers of urban transmission of leptospirosis. PLOS Negl Trop Dis 2022; 16(4).
 - 33) Weinberger D, Baroux N, Grangeon J, Ko A, Goarant C. El Niño Southern Oscillation and leptospirosis outbreaks in New Caledonia. PLOS Negl Trop Dis 2014; 8(4).
 - 34) Chua PLC, Huber V, Ng CFS, Seposo XT, Madaniyazi L, Hales S, et al. Global projections of temperature-attributable mortality due to enteric infections: a modelling study. Lancet Planet Health. 2021; 5(7): e436-e45. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
 - 35) Morin CW, Semenza JC, Trtanj JM, Glass GE, Boyer C, Ebi KL. Unexplored opportunities: use of climate- and weather-driven early warning systems to reduce the burden of infectious diseases. Curr Environ Health Rep. 2018; 5(4): 430-8.
 - 36) Lee JS, Carabali M, Lim JK, Herrera VM, Park IY, Villar L, et al. Early warning signal for dengue outbreaks and identification of high risk areas for dengue fever in Colombia using climate and non-climate datasets. BMC Infect Dis. 2017; 17(1): 480.
 - 37) Sanchez Tejada G, Benitez Valladares D, Correa Morales F, Toledo Cisneros J, Espinoza Tamarindo BE, Husain-Alkhateeb L, et al. Early warning and response system for dengue outbreaks: Moving from research to operational implementation in Mexico. PLOS Glob Public Health. 2023; 3(9): e0001691.
 - 38) Javaid M, Sarfraz MS, Aftab MU, Zaman QU, Rauf HT, Alnowibet KA. WebGIS-based real-time surveillance and response system for vector-borne infectious diseases. Int J Environ Res Public Health. 2023; 20(4).
 - 39) Karliner J, Slotterback S, Boyd R, Ashby B, Steele K, Wang J. Health care's climate footprint: the health sector contribution and opportunities for action. Eur J Public Health. 2020; 30(Supplement_5).
 - 40) Greener NHS. Delivering a 'Net Zero'. London, UK: National Health Service.; 2020. www.england.nhs.uk/greenernhs/publication/delivering-a-net-zero-national-health-service/ (引用日 2025年2月5日)
 - 41) World Health Organization. Alliance for Transformative Action on Climate and Health (ATAACH). <https://www.who.int/initiatives/alliance-for-transformative-action-on-climate-and-health/country-commitments> (引用日 2025年2月5日)

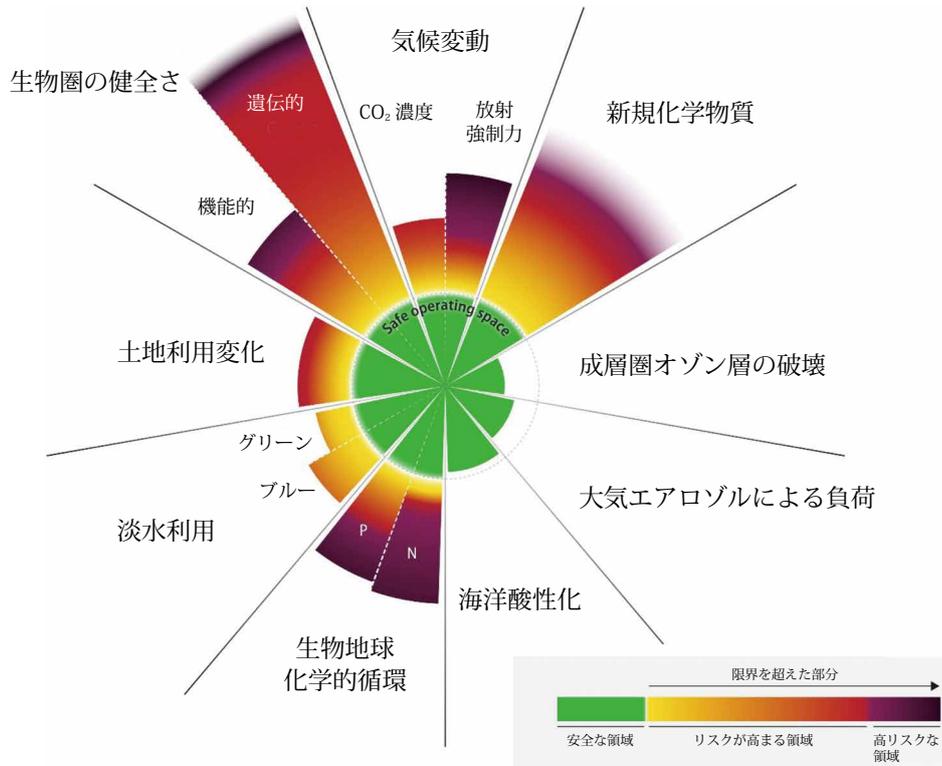


図1. プラネタリー・バウンダリーの9項目の現状

緑色のゾーンは境界の内側にある安全な領域を示す。黄色から赤色はリスクが増大する領域を、紫色は高リスクな領域を表す。

文献3) を参考に著者より作成

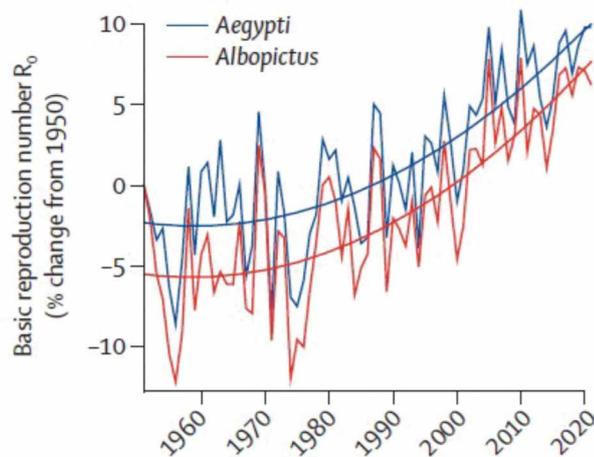


図2. デング熱の基本再生産数 (R₀) の経年変化

文献13) より転載

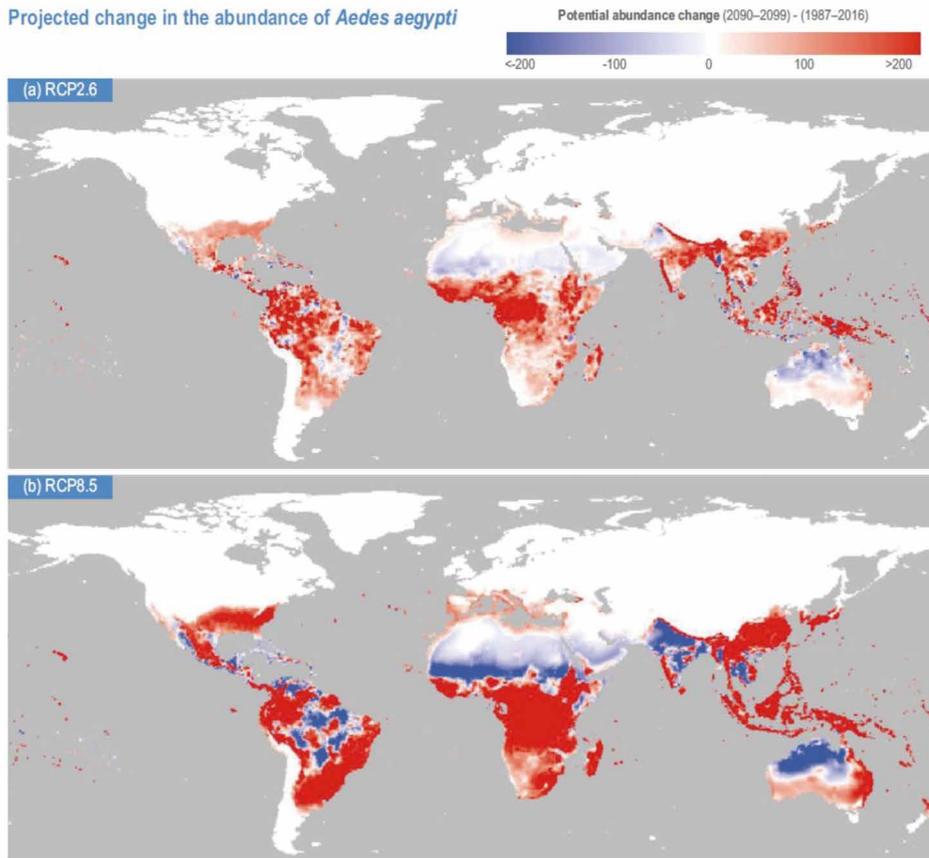


図3 21世紀中におけるネッタイシマカ個体数の変化（幼虫生息地あたり）
（1987～2016年を基準とした2090～2099年の変化）

上段は温暖化の抑制が成功した場合のシナリオ（RCP2.6）、下段は温暖化が進行した場合のシナリオ（RCP8.5）。

文献14)より転載

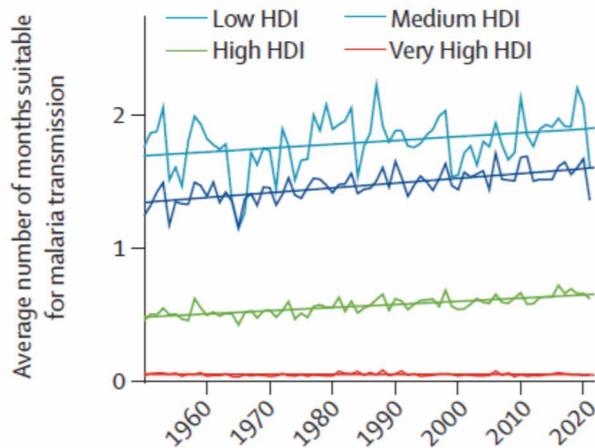


図4. 高地におけるマラリア伝播可能な年間月数の変化
HDI=human development index（人間開発指数）

文献13)より転載

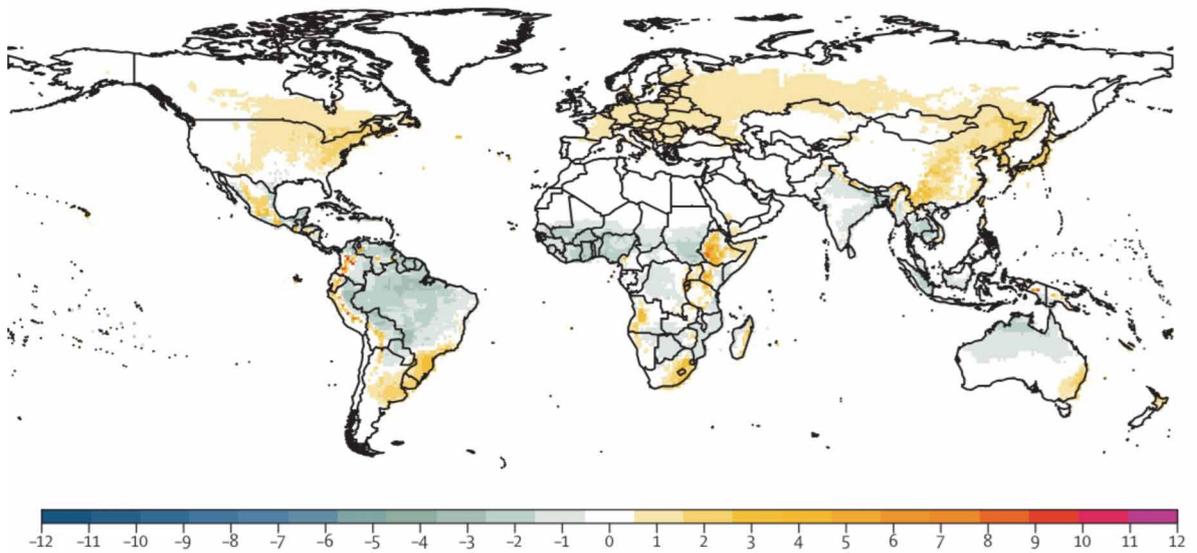


図5. 1970～1999年に対する2070-2099年におけるマラリア感染可能な年間月数（伝播季節の長さ（LTS））の変化のアンサンブル平均

図は RCP8.5-SSP5（緩和に対する課題が高く、適応に対する課題が低い）シナリオの場合。青色は LTS の減少を示し、オレンジ色またはピンク色は LTS（月単位）の増加を示す。RCP = 代表的濃度経路、SSP = 共有社会経済経路

文献 20) より転載

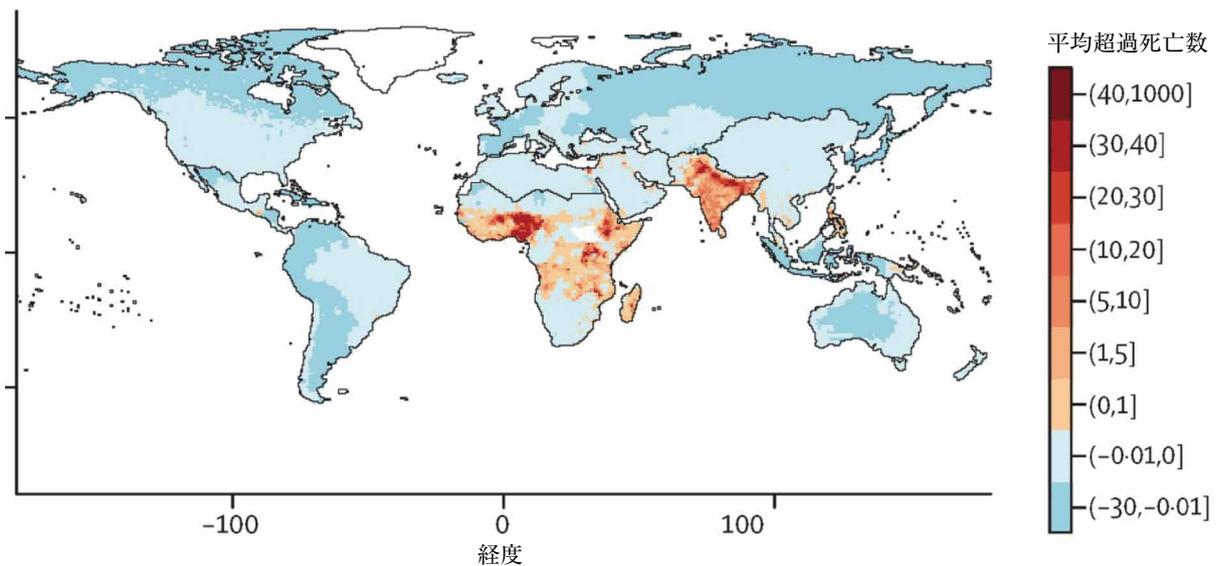


図6. 悲観的な気候シナリオ（SSP3-RCP6.0）に基づく2080～2095年における腸管感染症による超過死亡数

SSP = 共通社会経済経路、RCP = 代表濃度経路

文献 34) より転載