

気候変動と感染症
——医学研究と地域情報学のクロスオーバー——

西 渕 光 昭*

**Climate Change and Infectious Diseases:
Crossover between Medical Research and Area Informatics**

NISHIBUCHI Mitsuki*

Abstract

Climate change can influence human health in various ways. The influence on infectious diseases is considered particularly important. This chapter deals with the application of an area informatics approach to study in the medical field, particularly the epidemiology of infectious diseases. In recent years, models to predict the effects of climate change on the incidence of infectious diseases in certain areas using time and space as “rulers” have been developed. This approach appears to be applicable to all infectious diseases if important factors mediating the transfer of the effects of climate change to the incidence of infectious disease and the mediation mechanism are understood.

Infection is based on the relationship between the host and its parasite (pathogen). In some cases, an intermediate host(s) and/or vector(s) may also be involved in the establishment of infection. All the biological factors involved in infection are influenced individually by climate change. It is important to take the route of transmission of each infectious disease and all biological factors involved in its transmission into consideration when evaluating the effect of climate change on infectious diseases.

In this paper, an overview of the importance of climate change effects on infectious diseases is followed by an explanation of representative infectious diseases transmitted through oral, respiratory and skin routes and direct contact and the possible effects of climate change on these infectious diseases. These explanations help the reader understand the important factors involved in the transfer of climate change effects. Next, the direct effect of climate change on the host is considered, with an explanation of some models used to predict change in the risk map (geographical distribution of pathogens or vectors) due to future climate change. In addition, a model we developed to predict future cholera epidemics using local climate data is introduced. Finally, the extent to which climate change studies overlap area informatics is discussed.

Keywords: climate change, infectious disease, cholera, El Niño Southern Oscillation
キーワード: 気候変動, 感染症, コレラ, エルニーニョ現象

* 京都大学東南アジア研究所; Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University
e-mail: nisibuti@cseas.kyoto-u.ac.jp

I はじめに

本章では、地域情報学と医学研究のクロスオーバーという角度から「気候変動と感染症」を取り上げる。専門家により地域情報学は地域に存在する情報・知識・知恵を明確に定義された形式や手順に従って、比較可能な方法で構造や意味を理解し、体系化する過程を言う定義されている [柴山・原 2008]。しかし地域情報学は創成途上であり、関連する分野との境界をはっきりと認識することはまだ容易ではなく、諸学問に情報学が加えられて地域研究が進むならば、それを地域情報学と呼ぼうという意見もある [石井 他 2008]。著者は、地域に特有の情報（データ）を何らかのツールを用いて客観的に解析して、その地域に共通の概念を導き出すことが地域情報学の定義に沿ったアプローチの1つであり、既存の学問分野で実践されている研究の中に地域情報学的アプローチを取り入れている研究が存在すると考えている。序論に説明されているように、近年医学分野において「時間」や「空間」を〈定規〉として用いて気候変動と感染症の発生地域との相関関係を追求する研究が展開されるようになってきた。このような研究は、地域情報学的アプローチを取り入れた研究として認識されている [原 2008; 飯島 2008]。本稿では、このような研究が医学分野で、どのような背景から発展してきたかを概説し、関連する研究が地域情報学とどの程度までオーバーラップするかを考えてみる。地域情報学と他分野との境界領域を定義するための参考になれば幸いである。

医学分野において、地域情報に着目して関連因子との相関関係を解析するようになったのは疫学的発想に基づく。疫学研究は疫病の流行様態を観察する研究にはじまり、疾病についてある特定の集団（地域や職域など）を対象とし、その原因や発生条件を統計的に明らかにする学問として発展してきた。感染症は疫学研究の対象とされる疾病の1つであり、病原性微生物がその宿主に感染し、その結果宿主（ヒト）に明らかな健康被害が起こることを言う。ほとんどの病原性微生物は本来ヒト以外の自然環境中に分布している。自然環境全体の変化は、その中に生息する病原性微生物、生活するヒトおよびこれらの相関関係に様々な様式で影響を及ぼすため、そのような環境変化が感染症の発生に与える影響は複雑である。特に最近、感染症の疫学研究において、その発生に影響を与える環境要因として気候変動が注目されており、この要因の解析に「時間」や「空間」を〈定規〉として使用する空間疫学（space epidemiology）と呼ばれる研究手法が用いられるようになってきた。この解析においては、感染症が発生する地域を対象として、特定地域の気候変動などの環境変化が感染症発生地域にどのような変化をもたらすかを予測する。そのためのモデルを構築するにあたって、様々なパラメーターを考慮せねばならない。気候変動のような環境変化が地域特有の感染症に及ぼす影響は複雑なメカニズムを含んでいる。病原性微生物とヒトそれぞれが環境中の一要因であり、病原性微生物自体のライフサイクルは言うに及ばず、感染のプロセス、宿主側の抵抗性、さらには宿主（ヒト）の

生活する社会・経済状態までが環境変化の影響を受ける。さらに「環境変化」には、例えば何年頃には平均気温がどれくらいになるという時間的な要素も組み込まれている。このように、気候変動が感染症に及ぼす影響の研究は、特定地域の感染症情報と空間と時間を含めた種々のパラメーターとの相関関係を明らかにする方向へ展開している。どのようなパラメーターを含めるかについては、個々の感染症について検討すべきであるが、感染経路でくくってみると、ある程度共通のパラメーターが浮かび上がってくる。この点を理解すれば、医学分野以外の研究者でもあらゆる感染症の発生について、ある地域での気候変動の影響を査定するモデルの構築を試みることができるであろう。

本稿では、気候変動の影響を受けるとヒトの健康被害の中でとりわけ感染症が重要であることおよび感染症の主たる生物学的要因について簡単に説明し、種々の感染経路（経口感染、経気道感染、経皮感染、直接接触等による感染）およびその経路によって発生する代表的感染症を概観し、研究が進んでいる代表的な感染症について気候変動の影響を考察する。次に、気候変動が直接宿主に与える影響について考察し、さらに気候変動による感染症のリスクマップ（病原体または媒介生物の分布地域）の変化を予測する空間疫学モデルおよび特定地域において気象データからコレラの発生を予測する時間的疫学モデルを紹介する。このようにして、医学分野における気候変動と感染症に関する研究の方法と意義を明らかにしたうえで空間疫学モデルのみならず関連する研究がどの程度まで地域情報学とオーバーラップするかを考察する。

II 気候変動がヒトの健康に及ぼす影響

気候変動は、日々の天気の変化とは異なり、広範囲にまたはグローバルに観察される比較的長期間の気象の変化である。このように、空間的・時間的広がりをもつ環境変化が及ぼす影響を解析するのは興味深い研究である。気候変動は、自然に発生する場合と人為的要因によって引き起こされる場合がある。後者では特に、化石燃料の使用によって発生する温室効果（greenhouse effect）が大きな問題となっている。とりわけ、発生する温室ガス（greenhouse gases）の中でも二酸化炭素濃度上昇が原因でおこる大気温の上昇は最重要視され、これが海面上昇、降雨量の極端な変化による干ばつや洪水、あるいは熱帯でのサイクロンの規模と数の増加と関係していると考えられている [Emanuel 2005; Webster *et al.* 2005]。このような現象は直接あるいは間接的にヒトの健康被害をもたらす。この中には、熱波による衰弱・死亡、空気汚染による呼吸器系気管への傷害、植物の生育の変化による花粉アレルギーおよび栄養不良（農作物の凶作による）、災害（洪水・干ばつ・地盤沈下など）による肉体的・精神的ダメージ、病原性微生物の増殖と衛生環境の悪化にともなう感染症の増加などが含まれる。これらの健康被害は、人口増加、土地利用の変化、都市化、および淡水資源の減少などの要因にも影響

を受けるので、気候変動の影響と関連させて理解する必要がある [鈴木・安藤 1992; Haines *et al.* 2006; McMichael *et al.* 2006]。特に感染症への影響は重大な問題であり、ある程度研究が進んでいるので本稿では気候変動の感染症への影響について以下に詳しく記述する。

III 感染症では宿主（ヒト）、寄生体（病原体）、およびベクターが 主たる生物学的要因

医学分野では、感染症は宿主（ヒトなど）と寄生体（病原体）との戦いの結果、後者が戦いに打ち勝った場合に成立するものであるとされる。これは、宿主内でのイベントにのみ焦点を当てた考え方である。宿主も寄生体もそれらを取り巻く環境中に存在する生命体である。また、ほとんどの場合、寄生体は宿主外の環境中に生息しており、何らかの媒体を介して宿主体内に侵入する。環境に変化が起こった場合、感染症発生に関与するこれらの生命体は何らかの様式で、その影響を受ける。特に気候変動のような広域にわたる環境変化は、通常その環境中のすべての生命体に何らかの影響を及ぼし、従って感染症の発生にも影響があると考えられる。このような影響を解析するには、まず感染症発生に関与する種々の要因のそれぞれに対する影響を理解する必要がある。

感染を受ける宿主への直接の影響は、感染症を起こす病原体の種類とは無関係で、一定である。すなわち、種々のストレスを介した抵抗力（広義の免疫力）の変化のような生物学的変化が起こりうるが、社会・経済・文化的要因を含む生活環境の変化も宿主関連要因である。一方、個々の感染症の原因である病原体については、それぞれの病原体の生息環境・増殖・生死および媒介生物を含む感染経路を知っておくことが重要である。

IV 感染経路と代表的感染症および気候変動の影響

主たる感染症の感染経路は、経口（水・食品を介する）感染、経気道（飛沫）感染、経皮感染、および直接接触等による感染に大別される。それぞれの感染経路について、代表的感染症（病原体、感染経路、および発生地域）を概説し、それぞれのグループについて気候変動がどのようなメカニズムで感染症の発生に影響しうるかを以下に簡単に説明する。特定の感染症について、気候変動と感染症の関係を研究した最近の研究をリストアップした総説 [Altizer *et al.* 2006] があるので、具体的なメカニズムの詳細に興味のある読者は、この総説とそこで紹介されている原著論文を参照されたい。

IV-1 経口（水・食品を介する）感染

代表例を表1にまとめた。広く世界的に分布する病原体がほとんどであり、細菌性病原体で

表1 感染症例——経口（水・食品を介する）感染

感染症名	病原体	感染経路	発生地域
コレラ	細菌	沿岸水または患者→汚染した水・氷・食品	熱帯・亜熱帯地域
赤痢	細菌	患者の排泄物→直接感染および水・食品等を介した間接感染	全世界
腸炎ビブリオ感染症	細菌	海水→汚染した魚介類	全世界
大腸菌 O157 感染症	細菌	牛などの家畜→菌に汚染した肉類	全世界
A型肝炎	ウイルス	患者→汚染した食物・飲料水等	全世界
肝吸虫症	肝吸虫	第1中間宿主（マメタニシ）→第二中間宿主（淡水魚）→感染魚の生食によりヒトに感染（胆管に寄生）	中国、韓国、日本、タイ、ラオス、カンボジア等

あるコレラ菌や赤痢菌は特に発展途上国で重要であり、ウイルス性病原体では、A型肝炎ウイルス、寄生虫症の中では肝吸虫がよく知られている。経口感染では、病原体の生息場所と関連する食品の汚染および患者が糞便とともに排泄する病原体によって汚染した環境水（陸水）が感染症の発原因となる。肝吸虫の場合は、2種類の間宿主を介した後に感染が成立する。

気候変動の影響は、病原体が分布する自然環境への影響が重要であると考えられる。可能なメカニズムとして、1) 環境水の枯渇や環境水の水質の変化、2) 環境水の温度上昇が病原体の生存に有利に作用したり、病原体の増殖速度を増加させる、3) 急激な河川の増水や洪水が病原体の移動を補助する、4) 洪水などからの避難生活による急激な生活環境水の衛生状態の悪化などが考えられる [Greer *et al.* 2008]。例えば、コレラの場合には、特に降水量と気温の変化が沿岸水中に自然に分布するコレラ菌の生存と増殖に影響し、これがコレラの流行の季節的な変動に微妙に反映される [Pascual *et al.* 2002]。また、アフリカの難民キャンプでは、多数の避難民が非衛生的な生活を余儀なくされており、干ばつなどにより安全な水が確保できないことなどが重なれば、コレラの流行は容易に起こりうる。現在、世界のコレラ患者の94%がアフリカで発生している [World Health Organization 2005a]。

IV-2 経気道（飛沫）感染

代表例を表2にまとめた。経気道（飛沫）感染では、すでに感染している患者、保菌動物、または病原体が分布する自然環境から発生する飛沫中に生きた病原体が含まれる。そのような

表2 感染症例——経気道（飛沫）感染

感染症名	病原体	感染経路	発生地域
結核	細菌	患者の飛沫	全世界
オウム病	クラミジア	鳥類が保菌→排泄物中の菌を含む粉じんの吸入	全世界
麻疹	ウイルス	患者の飛沫	全世界
コクシジオイデス症	真菌	土壌中で形成された胞子が空中に飛散→主として経気道的（肺）に感染	米国南西部、中米、ベネズエラの乾燥地、アルゼンチンの砂漠地帯

飛沫を経気道的に吸入することによって感染がおこる。病原体は、細菌に限らずウイルスや真菌（カビ）も含まれる。患者数から見ると、結核はこのグループの中で最も重要な感染症であり、特に発展途上国では多数の患者が存在し、患者はキャリアーとして、結核菌を含む飛沫を環境中に排出している。

気候変動は、病原体の分布する環境および飛沫中での病原体の生残に大きく影響すると考えられる。その他、1) 一般に気温が低下する冬に患者数が減少すること（北半球）、2) 気候変化が空中に分布する汚染物質の濃度を上昇させることによって宿主（ヒト）の呼吸器系の粘膜の損傷をおこし、感染がおこりやすくなる、3) 気候変動によって避難を余儀なくされた人々の中で特異免疫の程度が異なり、免疫がない人々が感染することによって、ポピュレーション全体への流行病に発展することが知られている [Greer *et al.* 2008]。

麻疹（はしか）の流行の季節性は、古くから知られている古典的な例である。グラスゴーでは、麻疹の流行のピークは毎年10月であり、これは学校が始まる時期と一致していた [Soper 1929]。すなわち、この時期には麻疹ウイルスの保菌者である感染者から、そうでない人々にウイルスが伝播する機会が提供されることにより、高密度に生活するポピュレーションの間で流行が発生する。この発見を機に、麻疹の流行に影響を及ぼすスペース（人々が密集する機会）と麻疹の伝播の関係に関する研究がはじまった。気象の変化のために室内で生活する機会が増加することは、呼吸器系感染症の多発の原因の1つとなることは明白である。

IV-3 経皮感染

代表例を表3にまとめた。宿主の体外から体内へ侵入しようとする病原体に対して、皮膚は強力なバリアーとしての役割を果たす。しかし、傷口や媒介生物による吸血活動などを介し

表3 感染症例——経皮感染

感染症名	病原体	感染経路	発生地域
炭疽（病）	細菌	動物（ヒツジ等）由来の皮革、毛、肉等を介した経皮・経気道・経口感染	全世界
ペスト	細菌	齧歯類（ネズミ等）→ノミの吸血を介して経皮的にヒトに感染（または患者の飛沫による経気道的感染）	アジア、アフリカ、アメリカ大陸の限定された地域
破傷風	細菌	土壌中に分布する菌の芽胞が外傷または臍帯（出産時）から感染	全世界
菌腫	真菌、放線菌	土壌・植物の棘→皮膚の傷口から感染	熱帯・温帯・亜熱帯（インド・アフリカ・南米・メキシコ等で多発）
マラリア	原虫	患者→ハマダラカの吸血により、原虫がヒトに感染	熱帯・亜熱帯地域（原虫の種によって発生地域がおおよそ限局される）
リーシュマニア症	鞭毛虫	野生動物または患者→サシチョウバエによる吸血を介してヒトへ感染	東南アジアとオーストラリアを除く熱帯・亜熱帯地域
住血吸虫症	住血吸虫	貝（中間宿主）→寄生虫が水中に遊出し、水中でヒトに経皮的に感染	アジア、アフリカ、南米、中近東

て、病原体はこのバリアーを通過して体内に侵入する。特に、蚊の吸血活動を介して感染するマラリアは、患者数から見て世界的に最も重要な感染症であると言える。また、炭疽病のように、病原体の本来の宿主が家畜のような動物で、この保菌動物も新たな別の宿主（ヒト）も発症する場合の感染症を人獣共通伝染病（zoonosis）と呼ぶ。さらに、ペストのように、保菌動物 → 媒介昆虫 → ヒトという感染経路が存在する場合、感染症の発生には病原体以外に3種類の生物が関与している。

媒介生物や保菌動物を介する感染症の場合、媒介生物や保菌動物の分布域が感染症の発生を限定する要因となるので、気候変動の影響は媒介生物や保菌動物への影響が最も重要である。環境温度の上昇の具体的な影響として、1) 病原体の成熟サイクルを早めて、結果的にヒトへの病原体の相対的な伝播期間が長くなる、2) 媒介生物や保菌動物の分布域が拡大し分布密度が上昇する、3) 保菌動物およびその捕食者の数が増加する、4) 感染症の流行開始時期が早まるため、流行期間が長くなることがあげられており、また降水量の増加は、蚊のような媒介昆虫の数の増加および分布域の拡大へ貢献するとされている [Greer *et al.* 2008]。

土壌中に分布する病原体は、激しい環境変化にも耐えることができる状態（孢子または芽胞）で存在しているので、気候変動はこのような病原体には影響がほとんどないと思われる。しかし、降雨は土壌中での菌（栄養体）の増殖を促し、孢子または芽胞の数の増加に寄与する。一方で、干ばつによる土壌の乾燥は、孢子または芽胞が飛散することを助けるので、降雨に続く乾燥は、孢子または芽胞を介した感染症の増加に繋がる。

媒介生物を介した感染症への気候変動の影響に関しては、マラリアの研究分野で研究が最も進んでいる。Tanser *et al.* [2003] は、アフリカ全域について、空間的モデルに大規模な患者データを適用して、将来の気候変動の影響によるマラリア患者数の変化を空間的に予測した。2100年までに5～7%の患者数の増加が見込まれる。緯度的な分布域は、現在の分布域とほぼ同じで、分布域の高度が上昇するであろうという予測が報告された。

IV-4 直接接触等による感染

代表例を表4にまとめた。患者の粘膜部や体液中に分布する病原体が、性行為などの直接接

表4 感染症例——直接接触等による感染

感染症名	病原体	感染経路	発生地域
梅毒	細菌	患者→性行為・輸血を介した感染、母子の垂直感染	全世界
淋病	細菌	患者→性行為を介した感染	全世界
エイズ	ウイルス	患者→性行為・輸血を介した感染、母子の垂直感染	全世界
B型肝炎	ウイルス	患者→輸血・性行為を介した感染、母子の垂直感染	全世界
エボラ出血熱	ウイルス	患者の血液・体液との接触を介した感染	アフリカ中央部、西アフリカ

触によって、接触を受けたヒトの粘膜部へ伝播する性行為感染症が良く知られている。その他に、病原体が血液中に分布する場合、患者から他のヒトへ故意に血液を移動する場合（輸血）やアクシデント（手術時の血液への接触、注射針の操作ミス）による患者血液の他人への接種も間接的な接触感染と考えられる。これらの感染症の病原体は患者以外の環境中では、生存し難いので、患者との接触を避ければ、感染は防止できる。

このような場合、気候変動が宿主の接触の頻度に影響することがあれば、その影響が感染症の発生頻度の変化としてあらわれる可能性がある。エボラ出血熱では、ヒトのみならず、ゴリラやチンパンジーも宿主になり得る。アフリカで木に果物となる季節には、これらの動物（ヒトを含む）が集まってきて集団（aggregation）ができ、個体間の接触の機会が増える。すなわち、果実のできばえに影響を与えるような気候変動が起これば、結果として感染症の発生頻度に影響が見られるということになる [Altizer *et al.* 2006]。この気候変動と集団化の論理は、ヒトの経気道（飛沫）感染においても適用できると言える。

V 気候変動が直接宿主に与える影響

上記では、病原体と感染経路を中心として、気候変動の影響を考えた。一方、季節変化が宿主の感染症に対する感受性や免疫能に影響することが知られているので、季節変化を左右するような気候変動がおこれば、その影響が感染症の発生に多少なりとも反映される可能性がある [ibid]。季節変化の影響は、厳しい冬の寒さ（ヒトや動物の免疫力を低下させる）、繁殖期（ある種の鳥では、抗体産生能や細胞性免疫能が低下する）、交尾期（動物の雄は、ホルモン [テストステロン] のために、雌では妊娠、授乳、および育児のためにいずれも免疫能が低下する）などに見られる。また、集団化やストレスは、一般に寄生体への抵抗力を低下し、妊娠した雌は胎児を保護するために、自信の免疫力を低下することが知られているので、これらの現象に影響する気候変動は、感染症の発生に反映されることがあり得る。

VI 気候変動による感染症分布域の変化——時空間モデルの構築

上記の気候変動によるマラリアの発生予測モデル [Tanser *et al.* 2003] と同様に、最近他の感染症についても、将来の気温上昇を予測して、その影響が種々のパラメーターを介して、感染症の分布域に変化をもたらすであろうということをモデル化し、将来の分布域を予測するリスクマップが発表されている。これらのリスクマップを例にして、時空間という視点から、構築されているモデルを説明する。

ライム病は、米国ライム地方で発見された細菌性感染症で、原因菌は野生動物を自然宿主と

して、ダニ (*Ixodes scapularis*) の吸血を介してヒトにも感染する。Ogden *et al.* [2008] は、カナダでは、現在比較的寒冷地域に分布しているこのダニの分布域が温暖化にともなって、2019年までにどのように拡大していくか、つまり寒冷地域におけるダニの分布を空間とし、経年変化を時間とした予測モデルを発表している。この予測には、このダニを保菌する渡り鳥の移動も計算に入れられている。

Zhou *et al.* [2008] は、中国における住血吸虫症 (*Schistosoma japonicum* による感染) に関する研究を発表している。この住血吸虫は、貝 (*Oncomelania hupensis*) を中間宿主として、最終宿主であるヒトに寄生する。著者らは、2050年までの気温の上昇 (1.9°C) により、現在の住血吸虫の分布域が北方へ拡大し、新たに拡大する分布域の面積は中国全土の8.1%に相当するであろうということを時空間モデルで予測している。モデルの構築において、住血吸虫の増殖に必要な温度、中間宿主が冬眠を開始する温度、および中間宿主が生存するために必要な地域の温度 (特に一月の最低平均気温) などが重要な因子として取り上げられている。

気温上昇の影響は寒冷地で顕著に見られると思われる。カナダの極地で、ナメクジなどを中間宿主として、ジャコウウシなどの有蹄類を最終宿主として寄生する線虫に関する研究が報告されている [Kutz *et al.* 2005; Hoberg *et al.* 2008]。温度上昇は線虫の世代時間の短縮、感染 (伝播) 可能な季節 (期間) の延長という時間的要素、宿主中の線虫の密度などの空間的要素に影響し、その結果、線虫は単年度で1サイクルの感染が可能となり、近年次第に分布域を拡大してきたことが示されている。

VII 特定地域において気象データから感染症の発生を 予測する時間的疫学モデル

VII-1 エルニーニョ現象 (El Niño Southern Oscillation [ENSO]) の影響

太平洋で発生するエルニーニョ現象は、世界中の気象に影響を与えるグローバルな現象であり、感染症の発生にも影響を及ぼすことが知られている。特に、マラリア、デング熱、吸血性節足動物媒介性のウイルス性熱病、およびコレラなどへの経時的な影響について研究報告が多い [Kovats *et al.* 2003]。本論文では、特にコレラへの影響を取り上げて解説する。

VII-2 コレラとは

現在までに7回のコレラのパンデミック (世界的大流行) が記録されており、現在は1961年にスタートした第7次のパンデミックの最中である。第7次のパンデミックは、インドネシアからスタートし、東南アジア、台湾、ソ連、中東、西アフリカおよび南米に伝播している。第7次のパンデミックをのぞいて、その他のパンデミックの最初の発生地はインドとバングラデ

シュにまたがるベンガル地域である。この地域はコレラの常在地であり、通常ここから旅行者などを介して世界各地へ伝播すると考えられている。

コレラ菌の本来の生息地は、栄養分が豊富な沿岸の汽水域である。菌に汚染した魚介類の喫食を介して、第一次感染が発生する。次に、患者は腸内で増殖した多数の生菌を排泄して生活環境水（陸水）を汚染する。汚染した水または、それから起こる食品の汚染を介して第二次感染が発生する。第二次感染では、最初の患者の周囲の多数のヒトが感染する可能性がある。このようなコレラ菌の生態学を視野に入れて、気候変動のコレラの発生に対する影響を考える必要がある。バングラデシュの国際下痢症研究センター（ICDDR, B: International Centre for Diarrheal Diseases, Bangladesh）では、長年にわたってコレラ患者の発生数に関して正確なデータが保存されている。このデータをもとに、この地域でのコレラの発生と、この地域あるいは他の地域での気候変動との関係に関する研究が発表されている。

VII-3 気候変動とコレラの発生の関係

バングラデシュでは、年に2回（春と秋）コレラの流行がある [Longini *et al.* 2002]。このことは、コレラの流行と気象要因に関係があることを示唆している。また、バングラデシュにおけるコレラの患者数および季節的流行のピークの時期には年変動が認められる [Bouma and Pascual 2001]。この現象とベンガル地域周辺の海水温の変化が関係していることが知られており、これはエルニーニョ現象にともなう大気の温度上昇による影響であるとされている [Colwell 1996; Pascual *et al.* 2000]。沿岸海水は、コレラ菌が分布する自然環境であり、沿岸海水温の変化は、コレラ菌の増殖などに影響する。このように、気候変動およびそれによって影響を受ける気象の変化が感染症の流行に影響することが注目を集め、このような感染症について気象データから流行の予測を試みることの重要性が指摘されている [World Health Organization 2005b]。感染症の流行を事前に予測できれば、ワクチン投与を含めて、その感染症に対処するための保健医療システムを早期に確立することができる。

VII-4 気象データからコレラの発生を予測する試み

我々は、上記のような観点から、バングラデシュにおいて気象データをもとにコレラの流行を事前に予測することを試みた [Matsuda *et al.* 2007]。以下にその概要を説明する。

対象としたコレラ患者は、1983年から2002年までの期間に ICDDR, B ダッカ病院を受診した10歳未満小児で、O1型コレラ菌に感染したと診断された10歳未満小児（以下 O1 コレラ患者と略す）である。10歳以上の年齢になると、免疫を獲得している可能性があり、不顕性感染のために感染症を確定できない恐れがある。コレラ症の原因となるコレラ菌は、*Vibrio cholerae* に分類され、O抗原型が O1 または O139 型に属するが、上記調査期間中にバングラデシュの

小児にコレラの流行をおこしたのは、O1 型のみである。対象にした気象データは、バングラデシュ気象局がダッカ市内で1983年から2001年に記録した一日の最高、最低気温及び一日の総雨量である。我々は、現地の気温は、エルニーニョ現象に端を発する気候変動がベンガル地域周辺の海水温の変化を起こすプロセスをモニターできる気象要因の1つであると考えた。雨もそのような気象要因の1つであるとされている。また、雨はコレラ菌が生息する水環境の温度や栄養分の濃度および菌とヒトとの接触頻度に影響を及ぼすと言える。一般に、このような気象データは入手し易く、有用であることが証明されれば、汎用性が高い。

我々は、ある時点の患者数と、過去の各々の気象データ（Xカ月前の最高気温、Yカ月前の最低気温、Zカ月前の雨量）について、時間差を作りながら組み合わせて、それらの関係を時系列データを用いた自己回帰分析によって調べ、最適な予測モデルを探索した。その結果、以下のようなモデルが最適モデルであると判断した。

$$1 \text{ カ月後の予測患者数} = -56.2 \times [2 \text{ カ月前の月平均最高気温}^\circ\text{C}] - 23.6 \times [4 \text{ カ月前の月平均最低気温}^\circ\text{C}] + 0.53 \times [3 \text{ カ月前の月総雨量 mm}] + 2,790 + r(t)$$

(ただし $r(t) = 0.663[r(t-1)] + u(t)$ で $r(t)$ は残差, $u(t)$ はホワイトノイズを意味する)

このモデルによって予測された O1 コレラ患者数と実際に記録された患者数の比較を図1に示した。図に見られるように、上記の気象データに基づくモデルを用いて、O1 コレラの流行の傾向をかなり正確に予測できると言える。しかも、2カ月以上前の気象データに基づいて1カ月後の患者数を予測できる（すなわち、気象データを入手した時点から3カ月後の患者数を予測できる）ことになるので、保健医療関係者が対策をたてる時間的余裕は十分ある。ただ

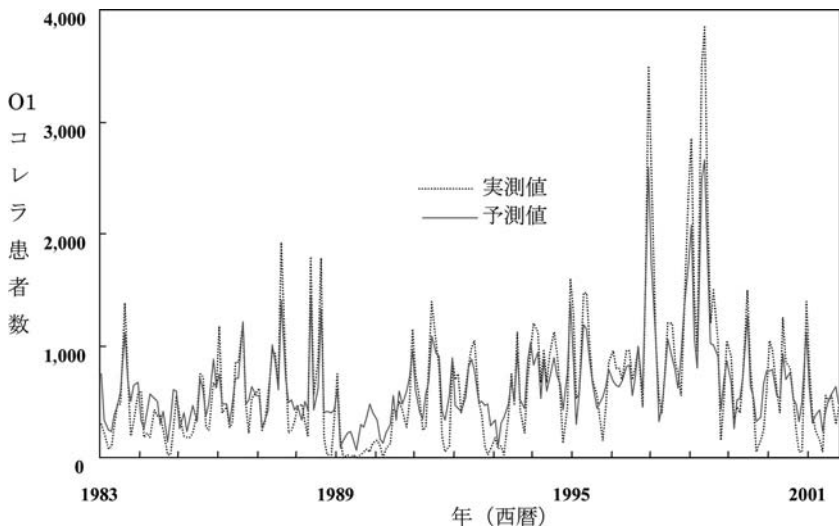


図1 回帰モデルによって予測した O1 コレラ患者数と ICDDR, B で実際に記録された O1 コレラ患者数の比較

し、このモデルによって流行の傾向（患者数変動のピーク）を的確に予測できるが、患者数の絶対値に関しては、予測値と実測値にある程度差が認められる（図1）。この差は、 $u(t)$ （ホワイトノイズ）に起因する。他の気象データ（湿度・日照時間など）も含めたモデルの作成を試みると、より実測値に近い患者数が予測できるかも知れない。

なお、気象変化が物理・生物・医科学的要因へ及ぼす影響を視野に入れて患者数の変動を考察するのみならず、社会・経済的要因（洪水や渇水による衛生環境の変化、凶作による人々の栄養状態の変化など）の介在も視野に入れるとより総合的なコレラ対策が可能になるであろう。

VIII お わ り に

上記のように、気候変動の感染症発生への影響の研究において、感染症発生へ影響する要因を組み込んだモデルに基づくリスクマップの作製や感染症の流行時期の予測が試みられるようになった。リスクマップ作成では、「時間」や「空間」を〈定規〉として用いて、GISをツールとして地図上へのマッピングを含む解析がなされるので、地域情報学的研究として位置づけやすい。感染症の流行時期の予測では、「空間」を特定の地域として固定し、「時間」のみを重要な〈定規〉として解析を進めるが、使用するデータは、その地域に特有な患者データ、気象データなどである。このような研究を地域情報学的研究とするか否かは、GISや地図へのマッピングを利用した空間解析を含んでいることが必要か否かに依存している。著者は、以下のような理由から、必ずしもその必要はないと思う。いずれのモデルを目標にするにしても、上記のように感染経路を中心として、感染症の発生に大きく影響するパラメーター（生物学的要因等）と感染のメカニズムを理解すれば、医学分野以外の研究者でもあらゆる感染症の発生について、気候変動の影響を査定するモデルの構築を試みることができる。特定の地域における感染症の予測モデルを構築する場合、使用するパラメーターやデータは多かれ少なかれ地域特異的なものになる。

適切な予測モデルが得られれば、気候変動へ対処するために大変有用なツールとなるであろう。現在、病原体あるいはその媒介生物の生存、増殖、および移動に影響する自然環境の変化が最も数値化しやすく、これらを組み込んだモデルが作られている。しかし、感染症は病原体と宿主との間の相関関係に依存する。気候変動は宿主であるヒトにも様々な様式で影響を及ぼす。これらには、宿主の免疫学的抵抗性のみならず、社会的、経済的、文化的な活動に関係する要因も含まれる。これらを組み込んで、いかに予測モデルを改良してゆくことができるかが、将来の課題であろう。そのためには、地域特有の情報に基づく関連要因の解明が重要である。例えば、以下のような例が挙げられる。1) 気候変動による凶作が食料の供給不足、貧困

層の栄養不足, 抵抗力低下を介して易感染性ポピュレーションの増加に繋がる。2) 気候変動による凶作が社会不安を助長し, 暴動, 内戦, 難民の増加, 劣悪な衛生状態で生活するポピュレーションの増加を介して感染症の流行に繋がる。3) 在地の知として, 古くから受け継がれた伝統的な食文化にはコレラなどの感染症を予防する方法が含まれている(殺菌性物質としてのスパイスや菌の増殖を抑制するライムのような酸性食品の添加, 魚介類を十分加熱して食べる習慣など)が, 干ばつや洪水のような気候の劇的変動により農作物や薪が入手不能になったために, これを実行できなくなることがあり得る。このような地域特異的要因を含めた解析を実施するには地域研究関連研究者からの情報提供が必要となる。これらを視野に入れた連携研究やネットワークの構築, 地域情報資源の共有化が地域情報学の一翼として進展すれば, 地域研究のみならず関連分野の研究への貢献は大きいと期待できる。このような研究を地域情報学の範疇に含めるか否かは, 「諸学問に情報学が加えられて地域研究が進むならば, それを地域情報学と呼ぼうという意見」を尊重するならば, その研究が地域研究に含めうるか否かという判断に委ねられるであろう。著者は含めうると考えている。

謝 辞

本稿で記載した内容の一部は, 科学研究費補助金基盤研究(S)「東南アジアで越境する感染症——多角的要因解析に基づく地域特異性の解明(課題番号19101010)」, 防災研究所共同特定研究15P-1「伝染性疾患の流行と気候・気象および気象災害の関係に関する統計的研究——バングラデシュを例にとりて」, 日本ワックスマン財団学術研究助成, ヤクルトバイオサイエンス研究財団研究助成によって実施した。

参 考 文 献

- Altizer, S.; Dobson, A.; Hosseini, P.; Hudson, P.; Pascual, M.; and Rohani, P. 2006. Seasonality and the Dynamics of Infectious Diseases. *Ecology Letters* 9: 467-484.
- Bouma, M.J.; and Pascual, M. 2001. Seasonal and Interannual Cycles of Endemic Cholera in Bengal 1891-1940 in Relation to Climate and Geography. *Hydrobiologia* 460: 147-156.
- Colwell, R.R. 1996. Global Climate and Infectious Disease: The Cholera Paradigm. *Science* 274: 2025-2031.
- Emanuel, K. 2005. Increasing Destructiveness of Tropical Cyclones over the Past 30 Years. *Nature* 436 (7051): 686-688.
- Greer, A.; Ng, V.; and Fisman, D. 2008. Climate Change and Infectious Diseases in North America: The Road Ahead. *Canadian Medical Association Journal* 178: 715-722.
- Haines, A.; Kovats, R.S.; Campbell-Lendrum, D.; and Corvalan, C. 2006. Climate Change and Human Health: Impacts, Vulnerability, and Mitigation. *Lancet* 367 (9528): 2101-2109.
- 原 正一郎. 2008. 「空間に基づいた情報解析ツール」『アジア遊学』113: 128-139. 東京: 勉誠出版.
- Hoberg, E.P.; Polley, L.; Jenkins, E.J.; Kutz, S.J.; Veitch, A.M.; and Elkin, B.T. 2008. Integrated Approaches and Empirical Models for Investigation of Parasitic Diseases in Northern Wildlife. *Emerging Infectious Diseases* 14: 10-17.
- 飯島 渉. 2008. 「感染症の流行に関する歴史データの整理とその国際保健・疫学への応用」『アジア遊学』113: 78-83. 東京: 勉誠出版.

- 石井米雄; 田中耕司; 柴山 守; 貴志俊彦. 2008. 「巻頭座談会 地域研究における情報学を考える」『アジア遊学』113: 4-27. 東京: 勉誠出版.
- Kovats, R.S.; Bouma, M.J.; Hajat, S.; Worrall, E.; and Haines, Andy. 2003. El Niño and Health. *Lancet* 362: 1481-1489.
- Kutz, S.J.; Hoberg, E.P.; Polley, L.; and Jenkins, E.J. 2005. Global Warming Is Changing the Dynamics of Arctic Host-parasite Systems. In *Proceedings of the Royal Society B* 272, pp. 2571-2576.
- Longini, I.M.; Jr., Yunus, M.; Zaman, K.; Siddique, A.K.; Sack, R.B.; and Nizam, A. 2002. Epidemic and Endemic Cholera Trends over a 33-year Period in Bangladesh. *Journal of Infectious Diseases* 186: 246-251.
- Matsuda, F.; Ishimura, S.; Wagatsuma, Y.; Higashi, T.; Hayashi, T.; Faruque, A.S.; Sack, D.A.; and Nishibuchi, M. 2007. Prediction of Epidemic Cholera Due to *Vibrio cholerae* O1 in Children Younger than 10 Years Using Climate Data in Bangladesh. *Epidemiology and Infection* 136: 73-79.
- McMichael, A.; Woodruff, R.; and Hales, S. 2006. Climate Change and Human Health: Present and Future Risks? *Lancet* 367 (9513): 859-869.
- Ogden, N.H.; St-Onge, L.; Barker, I.K.; Brazeau, S.; Bigras-Poulin, M.; Charron, D.F.; Francis, C.M.; Heagy, A.; Lindsay, L.R.; Maarouf, A.; Michel, P.; Milord, F.; O'Callaghan, C.; Trudel, L.; and Thompson, R.A. 2008. Risk Maps for Range Expansion of the Lyme Disease Vector, *Ixodes scapularis*, in Canada Now and with Climate Change. *International Journal of Health Geographics* 7: 24 doi: 10.1186/1476-072X-7-24.
- Pascual, M.; Bouma, M.J.; and Dobson, A.P. 2002. Cholera and Climate: Revisiting the Quantitative Evidence. *Microbes and Infection* 4: 237-245.
- Pascual, M.; Rodó, X.; Ellner, S.P.; Colwell, R.; and Bouma, M.J. 2000. Cholera Dynamics and El Niño-Southern Oscillation. *Science* 289: 1766-1769.
- 柴山 守; 原 正一郎. 2008. 「地域情報学の目指すところ——地域研究における GIS の応用」『アジア遊学』113: 28-35. 東京: 勉誠出版.
- 鈴木継美; 安藤 満 (編). 1992. 『地球の気候変動とリスク』東京: 合同出版社.
- Soper, M.A. 1929. The Interpretation of Periodicity in Disease Prevalence. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A* 92: 34-61.
- Tanser, F.C.; Sharp, B.; and le Sueur, D. 2003. Potential Effect of Climate Change on Malaria Transmission in Africa. *Lancet* 362: 1792-1798.
- Webster, P.J.; Holland, G.J.; Curry, J.A.; and Chang, H.-R. 2005. Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment. *Science* 309 (5742): 1844-1846.
- World Health Organization. 2005a. Cholera. *Weekly Epidemiology Record* 81: 297-308. (<http://www.who.int/wer/2006/wer8131/en/>) Accessed Oct 5, 2009.
- . 2005b. Using Climate to Predict Disease Outbreaks: Review. (<http://www.who.int/globalchange/publications/oeh0401/en/index2.html>) Accessed Jul 12, 2005.
- Zhou, X.-N.; Yang, G.-J.; Yang, K.; Wang, X.-H.; Hong, Q.-B.; Sun, L.-P.; Malone, J.B.; Kristensen, T.K.; Bergquist, N.R.; and Utzinger, J. 2008. Potential Impact of Climate Change on Schistosomiasis Transmission in China. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 78: 188-194.