

B-10 温暖化による健康影響と環境変化による社会の脆弱性の予測と適応によるリスクの低減化に関する研究

(2) 気候変化による水環境変化に由来する健康影響の評価とリスク予防に関する研究

国立感染症研究所 感染症情報センター	岡部信彦
国立健康・栄養研究所 栄養所要量研究部	柏崎 浩
東京慈恵会医科大学 臨床研究開発室 小児科学講座	浦島充佳
産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健経済学	ジャン・ドゥーソップ
長崎大学医学部原研疫学	本田純久
東京大学大学院	鈴木映子
山梨県環境科学研究所 人類生態学研究室	本郷哲郎

平成 11～13 年度合計予算額 15,407 千円
(うち、平成 13 年度予算額 4,049 千円)

[要旨] 本研究では、気候変化による水環境変化に由来する健康影響の評価とリスク予防に関して、以下の三つの側面から研究を遂行した。すなわち、Ⅰ. システムダイナミクスモデルを用いたシミュレーションによる温暖化が水系感染症の流行に及ぼす長期的影響についての検討 Ⅱ. 環境認識調査のための質問票の開発と調査の実施 Ⅲ. 温暖化に伴う気象変化による感染症流行の影響予測 等である。Ⅰでは試行錯誤的な検討と文献レビューによって、生態学モデルに基づくシミュレーションモデルを作成し、複数要因について、モデルに適切なリスク比の情報を与え、乳幼児における下痢症リスクの長期的変化を観察した。あるシナリオのもとで感染症のリスクがどのように推移するかを考察する上で、システムダイナミクスモデルによるシミュレーションは有用であった。Ⅱでは、ジャンらが開発し、すでに世界各国の学生や一般市民を対象に調査を行っている環境問題の認識に関する調査票 (Jahng, 1995) を参考に質問票を改良し、インターネットを利用して企業で働く従業員に環境認識調査を実施した。Ⅲでは、夏季流行感染症 (手足口病、ヘルプアングーナ、無菌性髄膜炎) の流行に影響する気象条件の検討や Recursive partitioning を用いたインフルエンザ流行周期の予測、さらにインフルエンザ流行周期に対する数学モデルの構築等を行った。気温を含む気象条件が手足口病、ヘルプアングーナ、無菌性髄膜炎の発生に関与し、年間平均気温 1 度の上昇はこれらの疾患発生頻度をおよそ 10% 押し上げることが予想された。又、Recursive partitioning は気象条件によるインフルエンザの流行周期をかなりの精度で予測できると考えられた。

[キーワード] システムダイナミクスモデル、環境認識調査、水系感染症、夏季流行感染症、インフルエンザ流行周期予測

I. システムダイナミクスモデルを用いたシミュレーションによる温暖化が水系感染症の流行に及ぼす長期的影響についての検討

1. はじめに

気候変化（温暖化）には、産業活動のみならず地球生態系において人間が生産・消費する資源量とその循環が関与しており、それによる健康影響を評価する場合、短期・直接影響だけでなく、人間の生存と健康に関わる環境と資源利用の相互均衡関係に対する長期的影響を重視する必要がある。そのためには、人間-環境系の総合的な問題として、長期健康影響に対する調査・研究アプローチをあらためて構築することが重要となる。温暖化による健康影響の評価として考えられる長期的影響および生活する人々の自然環境変化に対する認識を明らかにすることから始める必要がある。本研究では、長期的影響を評価するため、水資源の変動が地球温暖化、社会環境の変化、または食料など様々な要因・経路・連鎖によってもたらされるものとして捉え、これら要因間の関係や影響の大きさについて評価するため、システムダイナミクスモデルを用いることにした。ここでは、気候変化による水環境変化に由来する健康影響とリスク評価をそのモデルとしてとりあげた（柏崎、1998; Kashiwazaki and Hongo, 1999）。

2. 研究目的

シミュレーションモデルに基づく研究は、地球温暖化の間接的・長期的な影響を予測し、地球温暖化に対する地域的・地球的な環境政策を検討するうえで非常に有用な方法である。本研究では、第一のアプローチとして、システムダイナミクスモデルによるシミュレーションによって、温暖化が水系感染症の流行に及ぼす長期的影響について検討を行った。

3. 研究方法

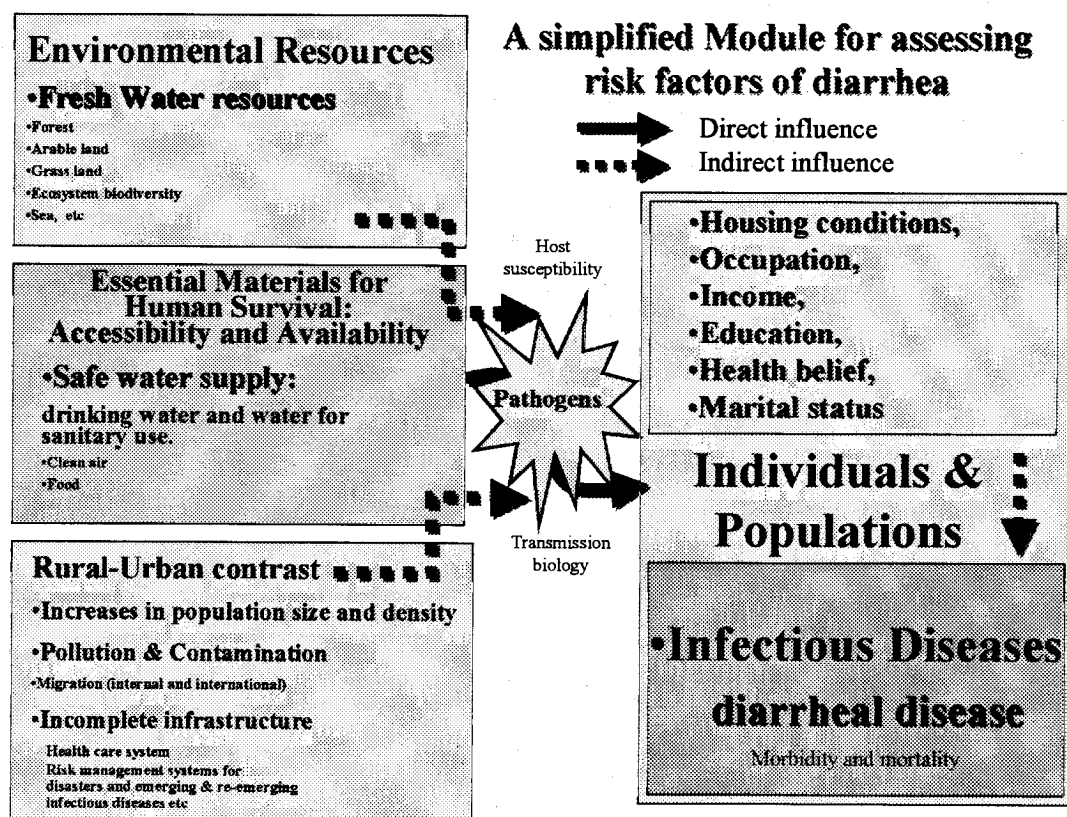
システムダイナミクスモデルによるシミュレーションの第一歩として、まず既に柏崎らにより警告されている人類生態学的モデル（柏崎、1998; Kashiwazaki and Hongo, 1999）をもとに概念モデルを構築した。図1に本研究で取り扱うシステムダイナミクスの概念モデルと要因のモジュールを示す。温暖化の影響は、水資源の汚染や不足、住民の居住環境や生活習慣、健康行動、社会経済因子などさまざまな要因を介して水系感染症の流行に間接的に影響を及ぼすことが考えられる。これらはさらに、感染症に対する住民の感受性の変化と、感染症の原因となる病原体自体の生物学的特性の変化という2つの間接影響のモデルにまとめられる。上記の要因を間接影響のモデルに組み込み、互いの相関関係を定義することで、システムダイナミクスモデルを構築することが可能となる。

概念モデルはさらにいくつかのサブモデルに分けることが可能である。個々のサブモデルについて、要因間の相関関係を詳細に検討する必要がある。相関関係の値は、水系感染症に関する既存の文献をもとに予測・推定することとし、医学関連論文データベースを利用し、水資源（水質、水供給、安全水、飲料水、水汚染）、疫学調査、介入研究、衛生・公衆衛生調査、栄養状態をキーワードに検索を行った。タイトルおよび論文要旨によるスクリーニングで選択した論文について、水系感染症、特に下痢症の罹患率に影響を及ぼす要因を、生態学的要因、経済的要因、社会・文化的要因について整理しデータベース化した。既存の文献から十分な情報が

得られない場合には、人類生態学及び疫学の専門家グループにおける討議から妥当な相関関係を推測し、モデルに値を代入することとした。同時に推定した相関関係の誤差やバラツキを評価するために、統計学的な手法による感度分析を行った。

さらに、収集・整理したデータベースをもとに、水系感染症流行を予測するために最適なシステムダイナミクスモデルを構築し、シミュレーションを行い、その妥当性について検討する手順が重要である。システムダイナミクスモデルは自然科学、経営工学、政策科学、社会学など幅広い分野で利用されている。特に生態学の分野では、地域生態系の複雑な相関構造をモデル化し、フィードバックシステムをモデルにとり入れることにより、生態系の時間的変化の予測が可能であることから、有用な方法論であると考えられる。以上の観点から、本研究では水系感染症の流行の予測シミュレーションモデルにシステムダイナミクスモデルを用いることとした。なおモデルの構築とシミュレーションの実行には Stella 日本語版 ((株) パーシティーウエーブ、東京) を用いた。

図1 システムダイナミクスによる概念モデル



(1) 文献検索による基礎情報の整理

① 水系資源利用形態の地域的多様性

水系資源へのアクセスが地域によって異なること、また都市などに見られる安全な水の供給システムは人工的に構築したシステムとそれを支える経済的基盤が必要であることなど、安全な水を確保するためには国・地域の特性によって多様な対応が必要である。このことは、地球環境の

変化による水系資源・安全な水の供給に対する直接的影響は国・地域によって異なり、それによる地域ごとの生態学的特性への波及効果さらに人口の脆弱性の進行過程は一様に表出するものではないことを考えさせる。水系資源の確保および安全な生活用水・飲料水が人の健康あるいは生存、なかでも乳幼児の生存に大きな影響を与えていることは、グローバルレベルでみた安全な水へのアクセスが可能な人口割合と乳幼児死亡率との関連からも明らかである(柏崎、1998)。これらグローバルレベルでの分析において指摘したように、ローカルレベルでの多様な水資源の変動と健康影響について説明するには自ずと限界がある。

特に、水系資源の確保や安全な生活用水の供給が不十分な発展途上国の多くの国では、下痢症が乳幼児の直接の死亡原因となるだけでなく、栄養状態の劣悪化を招くことによってもその死亡率を高めている。しかし、その一方で、いくつかの発展途上国における乳幼児の下痢症の罹患率と死亡率に関するデータを整理した Bern ら(1992)の報告が示すとおり、同じ国でも地域によってその値は大きな変動を示している。そこで、既存の情報を収集し、ローカルレベルでその生態学的諸条件と下痢症との関連を明らかにしていくことは、気候変動に伴う長期的・間接的な健康影響のリスクを、人口の脆弱化進行モデルの枠組みで評価する第一歩となると考えられる。

②水系感染疾患

発展途上国を中心に世界的に広がっている疾患の中で、安全な水の確保や衛生施設の充実が発病率や死亡率に関連するものとして、Esrey ら(1991)は回虫症(ascariasis)、下痢症、メジナ虫症(dracunculiasis)、鉤虫症(hookworm infection)、住血吸虫症(schistosomiasis)、およびトラコーマ(trachoma)の6つをあげているが、このうち下痢症は、その影響を受けている者の数が最も多く、また、生活用水や飲料水の確保と最も関連していることが示されている。これまでの15から20年の間に、各国で安全な水の確保や衛生施設の充実を中心に下痢症を減らすプログラムが実施され、ローカルレベルでみた場合には改善がみられる場合があるものの、その効果の程度は地域によって異なり(Esrey、1996)、また、グローバルレベルでみた乳幼児の罹患率は10年前と変わらないとする報告もある(Bern ら、1992)。これらのことは、水系資源の確保あるいは安全な水の供給が効果を持つ場合の条件をローカルレベルで吟味することの必要性を改めて示しているものといえる。

③安全な水の供給と下痢症

ア、供給量と水質： Esrey ら(1991)は先にあげた報告のなかで、水の問題と衛生設備(主に糞尿処理)の問題とに分けて下痢症の罹患率の低下に及ぼす効果の程度について、いくつかのローカルレベルでの調査結果を基に整理している。それによると、水系資源の確保あるいは安全な水の供給の問題は、その量と質の両方の側面から考える必要がある。すなわち、飲料水や食物洗浄のための良質の水供給だけでなく、人口が急増している発展途上国においては、身体や生活環境の衛生状態を維持するための水利用可能性が大きな問題となる。例えば、エクアドルの調査では、水量の不足から手や野菜の洗浄に一度使用した水を再利用した場合、下痢症のリスクが約4倍になることが報告されている(Sempertegui ら、1995)。また、エチオピアで行われた2歳までの子供を対象とした調査でも、たくさんの水を使う家庭の子供の方が下痢症の罹患率が低いことが報告されている(Freij & Wall, 1977)。下痢症を引き起こす主要な病原体の一つとしてランブル鞭

毛虫 (*Giardia lamblia*) があり、その主な感染経路は汚染された飲料水とされている。

先進国では、動物の糞便を介して飲料水の水源などが汚染された場合にその感染が拡がることがあり、飲料水の質が唯一重要なリスクファクターとなっているのに対し、発展途上国では他の要因を考慮する必要のあることが指摘されている。たとえば、レソトの農村地域での調査では、267 人の就学前の子供から収集した便試料の 23.6% が陽性を示し、1 日に使用する水の量が少ない場合に陽性率が高く、飲料用や料理用水の質や、便所の有無に比べ、手や食物の洗浄に使用できる水の量が感染のリスクに大きくかかわっていることが示されている (Estrey ら、1989)。

イ、供給設備と水質の改善： 一方、水質と下痢症のリスクとの関連を考える場合には、どのようなレベルで水質が改善されたか、すなわち、安全な水へのアクセスといっても、その質のレベルに関してはかなり差のあることを考慮に入れる必要がある。一般的に、農村部においては、水質の改善が下痢症の低下に大きな効果をもつことが多い。これは、日常利用している水の質がかなり悪い場合の多いことを示しているといえる。たとえば、ザイールの農村で 3 歳までの乳幼児を対象とした調査では、下痢症の発病率が 6.3/child/year と非常に高いことが報告されており、中でも、川や池の水を利用している場合には、きれいな泉の水やポンプで汲み上げた井戸の水を利用している場合に比べ約 2 倍の発症数を示している (Manun' ebo ら、1994)。また、タイ南部の 2 歳未満の子供 263 人を 1 年間にわたって調査した結果では、下痢症の発病率は 3.2/child/year と報告されている。対象者のうち、PWS (simple piped water supply) と呼ばれる設備、これは、30 から 80 世帯を単位に、被圧井戸によって汲み上げた水をパイプで家の近くに設けた容器に引いて利用するもので、特に濾過や塩素消毒は行なわないものであるが、それを利用している家族の子供の発病率は 2.5 で、利用していない家族の子供の 3.5 より約 30% 低い値であった。調査地域の年降水量は約 1500mm で、雨期が長く、地表面を水がおおっていることが多く、このような単純な設備で水を供給することによって、下痢症のリスクを低下させることができることを示している (Chongswivatwongl ら、1994)。

サウジアラビア南西部の農村地域でも、細菌検査の結果、飲料には適さないような井戸水を利用している村人に対し、塩素消毒剤を配布し各戸の貯水タンクに添加するよう指導したところ、5 歳以下の子供の下痢症の発病率が 48% 減少したことが報告されている (Mahfouz ら、1995)。他にも、ナイジェリア (Huttly ら、1987) やエクアドル (Brussow ら、1993) の農村地域で、下痢症のリスクを高めている主要な要因として飲料水の質があげられている。都市部においても、水道水を利用できないような場合に、下痢症の発症リスクが高いことが報告されている。たとえば、ブラジル南部の都市部での調査では、下痢による乳児死亡のリスクを高めている最も主要な要因は水道水の利用の有無で、社会経済的状態や生活環境等の他の要因をコントロールしても、水道水を利用していない場合、水道利用の場合の 4.8 倍に相当するリスクであった (Victoria et al、1988)。その一方で、バングラデシュのダッカ市の調査では、水道水へのアクセスよりも、世帯収入や家屋規模のような社会経済的要因のほうが下痢症のリスクに大きく貢献しているとの報告もある (Stanton and Clemens、1987)。

ウ、乳児栄養と水 (人工乳と母乳栄養による下痢感染リスク)： 良質の水が確保できない場合に、乳児、特に人工乳児の下痢症リスクの高いことが問題にされている。母乳児の場合には飲

料水の水質(ここでは大腸菌の数で水質を判断している)に関わらず下痢症のリスクは低い、人工乳児の場合、水質の悪化に伴って下痢症のリスクも急激に増加している。同時に、母乳の持つ感染症への抵抗効果も指摘されている。母乳を与えない場合(あるいは早くから離乳させる場合)には良質の水の確保が下痢症のリスクに大きく関わっている (VanDerslice ら、1994)。

エ、安全な水の確保と衛生教育： さらに、水質の改善が効果をもつ場合の条件として、その水を積極的に利用するよう、あるいは、同時に周囲の生活環境を衛生的に保つよう指導をすることが重要である。バングラデシュのある地域では、飲料水としてはポンプで汲み上げた水を使用しているが、手や食物の洗浄あるいは料理の水としては覆いのない水路や浅い溝の水を利用している。そのような地域の一部の村を対象に、ポンプを増設すると同時に、手や食物の洗浄にその水を利用することを含めた衛生教育を実施したところ、2歳未満の乳幼児の下痢症発病率は、3.4/child/year と対象地区の 4.1/child/year に比べ低下した。しかし、そのようにポンプを増設した村でも、その水を利用する、排泄物(特に子供の便)を放置しない、料理等の前に手全体を洗う等の項目を実践しない家庭の場合には、下痢症の発病率は低下していない。この例では、良質の水の利用可能性が増加するとともに衛生教育の効果が加わった場合に、下痢症の発病率は約40%減少している (Alam ら、1989)。

又、安全な水の供給設備や衛生設備などの導入がコストの面から不可能な場合に、石鹸と水で手を洗うことをすすめたダッカ市郊外のスラムの例では、下痢症の罹患率が大きく減少するとともに、rectal swabs 検査による細菌の検出率も低下している (Shahid ら、1996)。同様に、スマトラ島でも3歳以下の子供に対し、石鹸で手を洗うことをすすめることが下痢症のリスクを減らすのに有効な手段の一つであることが指摘されている (Aulia ら、1994)。これらの例は、直接には衛生教育が下痢症のリスクを低下させるのに有効であることを示しているが、手を洗うための十分な水を利用することができることがその前提となる。

オ、生活環境の整備： フィリピンセブ島の都市部の調査では、新生児を持つ約2000人の母親を対象に、生後2ヵ月目から1年間、2ヵ月おきに6回のインタビューを実施し、1週間の間に下痢をしたかどうかをたずねている。下痢になった子供の割合は、2ヵ月目の7%から徐々に上昇し、8ヵ月目以降は25%に達し、6回のインタビューで1回も下痢をしなかった子供は39%であった。対象とした家庭の85%は、飲料水として覆いのある掘り抜き井戸(boreholes)あるいは市の水道を利用しており、その75%では大腸菌が検出されていない。それに対し、残りの家庭は、その約2/3が大腸菌で高度に汚染されている覆いのない井戸の水を利用している。下痢症のリスクを減らすために効果のある要因を明らかにするためにモデルを組んで検討した結果では、良質の水の利用と、住居周辺の衛生環境状態、たとえば家屋が混みあっているか、子供の糞便が周囲にみられるか等の改善が同時に必要であることが示されている。すなわち、住居周辺の衛生環境状態が良好な場合には、飲料水中の大腸菌を減らすことが下痢症のリスクを約40%減らす、衛生環境状態が悪い場合には、良質の水を利用することの効果はみられない。また、逆に、良質の水を利用している場合には、周囲の衛生環境状態の改善が下痢症のリスクを約25%減らすのに対し、質の悪い水を利用している場合にはその効果はみられない (VanDerslice & Briscoe, 1995)。

4. 結果・考察

検索した文献から、下痢症の罹患率・死亡率に影響を与える要因を、生態的要因、経済的要因、社会・文化的要因について整理し、個々の要因のリスク強度に関する情報をデータベースとした。気候変化に伴う健康影響評価モデルとして作成した人類生態学モデルにおいて、下痢症に対する人の感受性に関するサブモデルと、病原体の生物学的特性のサブモデルに分け、整理したデータベースをもとに、各要因間の連関について検討を行った。図2に示すモデルはその一例である。宿主の感受性を決定する要因としては住居環境、職業、経済状況、教育水準、健康教育、婚姻状況をモデルに含めた。また病原体の生物学的特性としては、水源から水を採取して、飲料水として利用するまでの各段階における汚染の程度と、水の汚染に影響を与える社会環境や消毒技術をモデルに含めた。

図3に宿主の感受性に関するサブモデルにおける要因の関連の大きさを示す。グラフ中の数字は、ある要因が変化した場合の幼児における水系感染症リスクの変化を示し、家族の職業については第二次、第三次産業に対する第一次産業のリスクを、教育水準については全く教育を受けない人に対する7年以上の教育を受けた人のリスクを、住居環境については近代的な家に対する仮住まい的なバラック小屋・丸太小屋のリスクを、経済状況については高い経済水準に対する低い経済水準のリスクを示す。これらの値は、関連する文献の系統的なレビューをもとに、複数の研究者で討議して決めた。なお、健康教育と婚姻状況については文献での情報が不足していたため、モデルのパラメータ値を設定せず、様々な値を仮定して水系感染症リスクの変化を調べる感度分析 (sensitivity analysis) を行った。

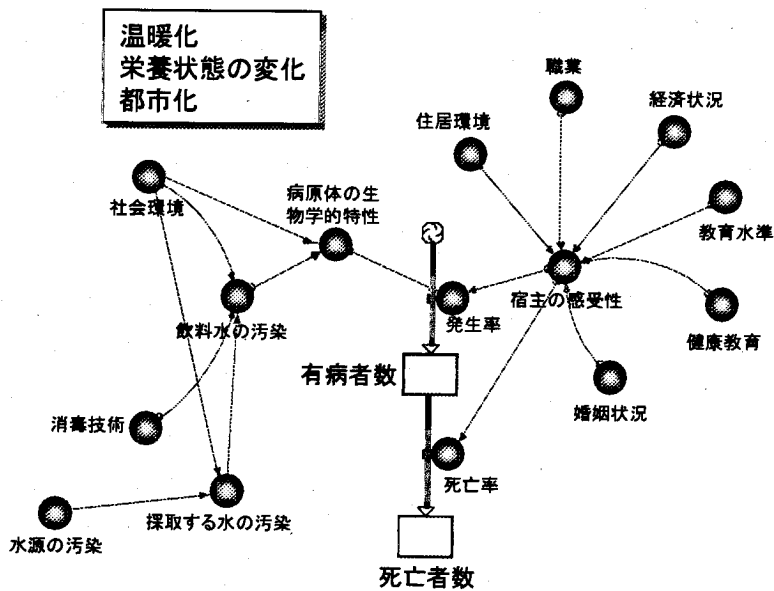


図2 水系感染症のシステムダイナミクスモデル

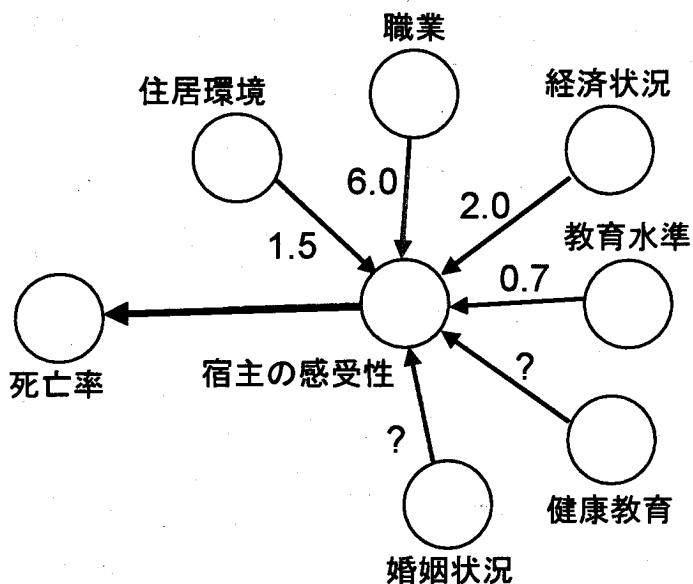


図3 宿主の感受性に関するサブモデル(要因の関連の大きさ)

システムダイナミクスモデルを用いて水系感染症のリスクが長期的にどのように変化するかをシミュレーションにより予測する一つの応用例として、都市化の影響による、ある集団の感染症リスクの経時的な変化を考えた。都市化の影響としてモデルに入れた要因は産業構造、経済状況、教育水準、居住環境、人口密度の変化である。また継時的な感染症リスクの推移としては10年間の期間を考えた。ここでは一つのシナリオとして、第一次産業の割合は10年間に80%から40%に減少し(図4-1)、経済状況の高い人の割合は10%から20%に増加し(図4-2)、7年以上の教育を受ける人の割合は0%から100%に増加し(図4-3)、仮住まい的なバラック小屋・丸太小屋に住む人の割合は80%から40%に減少し(図4-4)、人口密度の増加に伴い感染症のリスクは指数関数的に10年間で2.59倍に増える(図4-5)ものとする。その結果、ある地域の感染症のリスクは図4-6に示すように最初の2年間はわずかながら上昇するが、その後は下がり、10年後には開始年の0.885倍になる。以上のように、あるシナリオのもとで感染症のリスクがどのように推移するかを考察する上で、システムダイナミクスモデルによるシミュレーションは有用である。

以上、試行錯誤的な検討と文献レビューによって、生態学モデルに基づくシミュレーションモデルを作成し、複数要因について、モデルに適切なリスク比の情報を与え、乳幼児における下痢症リスクの長期的変化を観察した。しかし、この過程で得られた大きい問題は、モデルと情報とのギャップであった。文献レビューにおいて参考にした疫学・生態学研究が整理した各種環境要因によって、グローバルな環境変動に対応する健康影響を予測するために必要な情報を埋めることができない。これは、例として提示した下痢症に限ったことではないように思われる。このようなギャップを埋めるために、シミュレーション分析は、システム・ダイナミックに限定せずに、サブモデルごとの検討を今後さらに進めていく必要がある。文献から十分なデータが得られない変数間の相関関係については、専門家グループによる慎重な討議が必要である。さらに、グローバルな環境変動を視野に入れた、具体的な健康影響研究が重要である。

図4 (1~6) 都市化による感染症のリスクの経時変化に関するシミュレーション

図4-1 産業構造の変化による感染症のリスクの推移

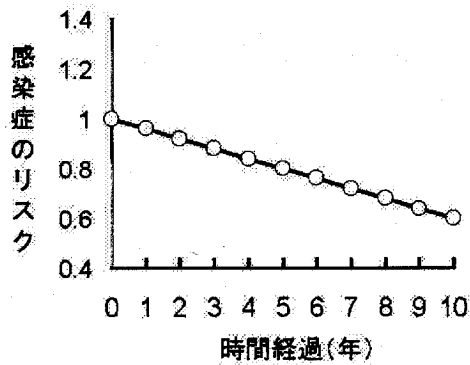


図4-2 経済状況の変化による感染症のリスクの推移

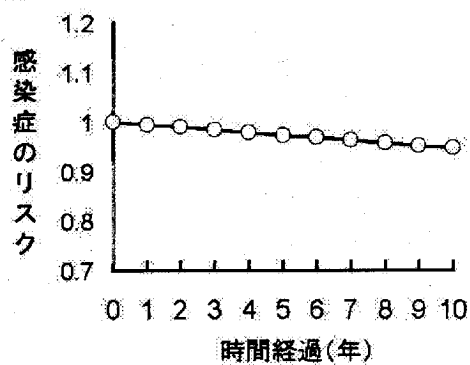


図4-3 教育水準の変化による感染症のリスクの推移

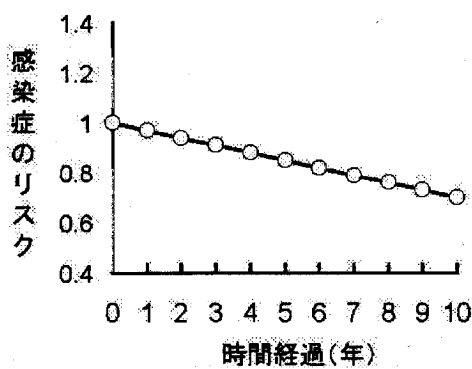


図4-4 居住環境の変化による感染症のリスクの推移

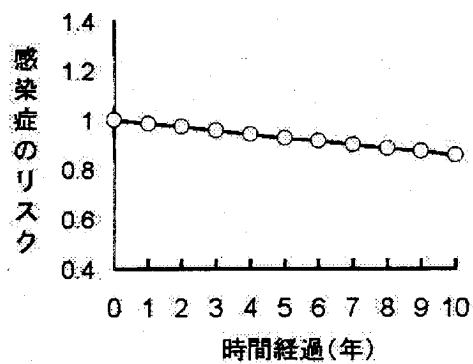


図4-5 人口密度の変化による感染症のリスクの推移

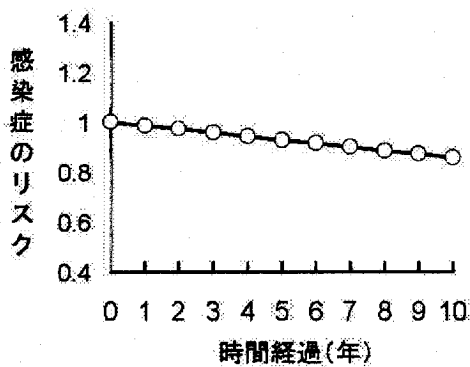
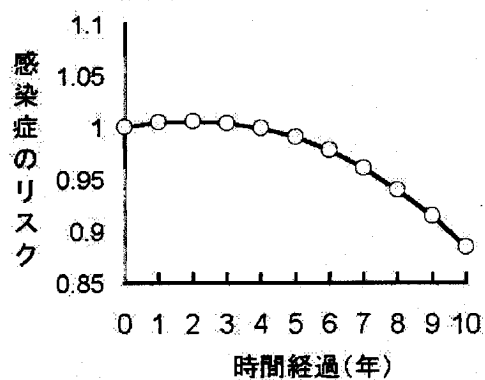


図4-6 都市化による感染症のリスクの推移



5. 本研究により得られた成果

思考錯誤的な検討と文献レビューによって、生態学モデルに基づくシミュレーションモデルを作成し、複数要因について、モデルに適切なリスク比の情報を与え、乳幼児における下痢症リスクの長期的変化を観察した。あるシナリオのもとで感染症のリスクがどのように推移するかを考察する上で、システムダイナミクスモデルによるシミュレーションは有用であった。

6. 引用文献

- 柏崎 浩 (1998) 地球環境変化の健康への影響 —人類生態学より—、地球環境 Vol. 2、No.2: 221-224
- Kashiwazaki, H. and Hongo, T. (1999) Long-term and indirect impact of global climate changes on resources and vulnerable population: Need of a human ecology model. Proc. 10th Global Warming Conference, Yamanashi, May 6-8, 1999
- Doosub J. Jahng and Y. Yanagisawa, Environmental Awareness Study II. -Development of Questionnaire and the Results of Pilot studies. Air & Waste Management Association (AWMA) #95-FA166. 02, 1-13, 1995
- Alam, N., Wojtyniak, B., Henry, F. J., and Rahaman, M. M. (1989) Mothers' personal and domestic hygiene and diarrhoea incidence in young children in rural Bangladesh. *International Journal of Epidemiology*, 18, 242-247.
- Aulia, FL, Surapaty, S. C., Bahar, E., Susanto, T. A., Roisuddin, Hamzah, M., and Ismail, R. (1994) Personal and domestic hygiene and its relationship to the incidence of diarrhoea in south Sumatra. *Journal of Diarrhoeal Diseases Research*, 12, 42-48.
- Bern, C., Martines, J., de Zoysa, I., and Glass, R. I. (1992) The magnitude of the global problem of diarrhoeal disease: a ten-year update. *Bulletin of the World Health Organization*, 70, 705-714.
- Brussow, H., Rahim, H., Barclay, D., Freire, W. B., and Dirren, H. (1993) Nutritional and environmental risk factors for diarrhoeal diseases in Ecuadorian children. *Journal of Diarrhoeal Diseases Research*, 11, 137-142.
- Chongsuvivatwong, V., Mo-suwan, L., Chompikul, J., Vitsupakorn, K., and McNeil, D. (1994) Effects of piped water supply on the incidence of diarrheal diseases in children in southern Thailand. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 25, 628-632.
- Esrey, S. A. (1996) Water, waste, and well-being: a multicountry study. *American Journal of Epidemiology*, 143, 608-623.
- Esrey, S. A., Collett, J., Miliotis, M.D., Koornhof, H.J., and Makhale, A.P. (1989) The risk of infection from *Giardia lamblia* due to drinking water supply, use of water, and latrines among preschool children in rural Lesotho. *International Journal of Epidemiology*, 18, 248-253.
- Esrey, S. A., Potash, J. B., Roberts, L., and Shiff, C. (1991) Effects of improved water supply and sanitation on ascariasis, diarrhoea, dracunculiasis, hookworm infection, shistosomiasis, and trachoma. *Bulletin of the World Health Organization*, 69, 609-621.
- Freij, L. and Wall, S. (1977) Exploring child health and its ecology. *Acta Paediatrica Scandinavica (suppl.)*, 267, 1-180.
- Huttly, S. R. A., Blum, D., Kirkwood, B. R., Emeh, R. N., and Feachem, R.G. (1987) The epidemiology of acute diarrhoea in a rural community in Imo State, Nigeria. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene*, 81, 865-870.

- Mahfouz, A. A., Abdel-Moneim, M., al-Erian, R. A., and al-Amari, O. M. (1995) Impact of chlorination of water in domestic storage tanks on childhood diarrhoea: a community trial in the rural areas of Saudi Arabia. *Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 98, 126-130.
- Manun'ebo, M. N., Haggerty, P. A., Kalengaie, M., Ashworth, A. and Kirkwood, B. R. (1994) Influence of demographic, socioeconomic and environmental variables on childhood diarrhoea in a rural area of Zaire. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 97, 31-38.
- Sempertegui, F., Estrella, B., Egas, J., Carrion, P., Yerovi, L., Diaz, S., Lascano, M., Aranha, R., Ortiz, W., Zabala, A., et al. (1995) Risk of diarrheal disease in Equadorian day-care centers. *Pediatric Infectious Disease Journal*, 14, 606-612.
- Shahid, N. S., Greenough, W. B., Samadi, A. R., Huq, M. I., and Rahman, N. (1996) Hand washing with soap reduces diarrhoea and spread of bacterial pathogens in a Bangladesh village. *Journal of Diarrhoeal Diseases Research*, 14, 85-89.
- Stanton, B. F. and Clemens, J. D. (1987) Socioeconomic variables and rates of diarrhoeal disease in urban Bangladesh. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene*, 81, 278-282.
- VanDerslice, J. and Briscoe, J. (1995) Environmental interventions in developing countries: interactions and their implications. *American Journal of Epidemiology*, 141, 135-144.
- VanDerslice, J., Popkin, B., and Briscoe, J. (1994) Drinking-water quality, sanitation, and breast-feeding: their interactive effects on infant health. *Bulletin of the World Health Organization*, 72, 589-601.
- Victora, C. G., Smith, P. G., Vaughan, J. P., Nobre, L. C., Lombardi, C., Teixeira, A. M., Fuchs, S. C., Moreira, L. B., Gigante, L. P., and Barros, F. C. (1988) Water supply, sanitation and housing in relation to the risk of infant mortality from diarrhoea. *International Journal of Epidemiology*, 17, 651-654.

II. 環境認識調査のための質問票の開発と調査の実施

1. はじめに

1972年に発表され、多くの環境関係者の共感を得たローマクラブの「持続可能な発展」の概念は、環境問題を取り込む際に学際的かつ社会を構成するすべての人々の努力を呼びかけるものである。その中で企業活動に起因する環境汚染物や環境破壊に対する社会の見方も、単なる批判や抑制から消費生活を豊かにする過程での解決できる問題として捉えるように変わってきた。環境破壊と関係する個人生活に対して、マスコミなどを通じた多くの環境啓発プログラムが急激に増えてきた一方、企業活動における環境教育のあり方に関してはいまだ議論の余地が多く残されている。企業活動は個人の日常生活とは異なり、現在の生産システム、すなわち化石資源エネルギーを得る過程で生じる有害物質への対策は現在の技術のレベルではきわめて難しく、リスクゼロ

には至らない。したがって、より少なく、またより安全に現在の技術を駆使しながら、次世代のクリーンテクノロジーが出現するまでの中間過程を経て進める必要がある。

2. 研究目的

質問票の開発の目的は、地球レベルの環境対策を講じる際に、様々な立場の人々がもつ「環境」という概念の認識の違いをどう捉えるかという問題意識からである。一概に環境と言っても、自然環境と住居環境、ヒトへの健康問題と関係する環境や自然環境保存といった様々な立場が存在する。それによって、政策者としての意味合いと住民としてのものが、どこまで共通認識としてとらえられているかは常に疑問視される。また、住んでいる地域や、おかれた状況によっては、一般的に使われている環境を実際どのように認知しているかについて理解することが今後の環境対策に重要な点として考えられた。

3. 研究方法

人の環境認識調査については、1992年ジャンらが開発し、すでに世界各国の学生や一般市民を対象に調査を行っている環境問題の認識に関する調査票(Jahng, 1995)を参考に質問票を改良し、インターネットを利用して実施した。異文化や異なる問題意識間の情報交換を目指した今回の質問票の主な調査項目は以下のとおりである。

すなわち、① 基本属性；国籍、主に使用する言語、性別、年齢、市町村までの自宅住所、最終学歴、居住歴、海外での在住歴 ② 環境への関心；関心の有無と関心分野、関心をもった時期と場所、そのきっかけ、関心を持つようになった情報源 ③ 環境へのイメージ；人間と自然との位置関係、環境という言葉聞いたときのイメージ ④ 環境関連事項に対する優先順位；地球環境改善の主体と方法、自国環境改善の方法 ⑤ 投影法による環境への関心と行動への評価；政治家、産業界、言論界、科学者、学生、主婦、農林漁業者、地域住民、家族と自分自身 ⑥ 環境の現状に対する自分自身の印象；自国と居住地域 ⑦ 水資源の一つである川に対する質問；流域の環境変化に対する責任の主体、川がもたらす恩恵と危機認識 ⑧ 最近の環境エピソードや関連知識の理解度 ⑨ 自由記入；病気に対するイメージ、環境関連活動、環境問題に対するコメント、本調査および質問票に対するコメント

質問文や選択肢の開発において特に注意を払ったのは、今回の質問票が情報提供型のものであるという点である。すなわち、研究者の質問意図に対する対象者の回答を得ることのみでなく、質問票それ自体を学校教育の現場や環境に関心のある人々の集まりで教材として使用することが可能となるよう工夫した。また、質問は議論のテーマを与えつつ、ある意味では正解のない問いかけについて、現時点でどれくらいの人が同じ認識を持っているかを調べることができるようにした。それにより、だれでも共通の認識があるはずと考えている「ある環境」に対して、まったく異質の考え方を持っている集団が存在し、なお、どちらもそれぞれの立場において正しいと信じているという事実を共有できる教材としての価値も見出せると思われる。分析手法としては、基礎統計、質問項目間の関連性、1992年から行われてきている質問調査の情報との比較などが考えられている。今回の質問票がより多くの地域や国で行われるようになれば、それらの情報を学校教育に反映できるよう、基礎統計の手順、議論の場での使用法なども開発していく予定である。

これらの情報は既存の各種産業に就業する人々、大学生を対象にした調査とあわせ、環境という言葉に接する人々の多くの部分を網羅できるものとして意義がある。残るのは環境関連の研究者や政策決定者であるが、機会があれば調査対象として取り上げたい。そこで、組織としての環境対策や関連システムの開発にともない、実際それを運営する人々であり、現在の生産テクノロジーを運営する一人一人の労働者の環境認識はきわめて重要な要因となる。なぜならば、技術やシステムではカバーしきれない部分、すなわち有害物質の取り扱いや排気ガス削減のための運転への配慮、ごみ処理の徹底など人為的に対策をとらなければならない環境対策の徹底への期待が大きいからである。

(1) 環境認識調査の方法

① 環境認識調査質問票の改定：「環境認識に関するアンケート調査」は、自分の住んでいる国や地域の環境状態に関する認識や、環境問題に対する意識の違いを国際的に比較することを目的に、1992年にアメリカのハーバード大学公衆衛生学部において Jahng らにより開発された。その後、英語版から各国語版への翻訳が行なわれ、現在までに英語版、日本語版、韓国語版が完成している。質問票の翻訳には英語から自国語、自国語から英語という作業をそれぞれ違う人に頼み、最初の英語と最終的に出来上がった英語との比較・検討を行う、逆翻訳 (back translation) 法を用いた。これまでにアメリカ、日本、韓国の3カ国で、調査が行なわれている。1997年には企業ではたらく従業員を対象とした環境認識調査質問票企業版 (日本語) があらたに開発され、今回著者らが改定を行ったものは1997年度の企業版である。改定は、既存のものに新しい環境一般の質問項目を追加したこと、そして企業活動を踏まえた企業に特化した質問を加えたことにより行われた。

② 環境認識調査質問票 WWW 版：上記の企業版の改定を終えてから近年目覚ましい普及を示しているインターネット環境を踏まえ、インターネットバージョンの質問票として開発を行った。インターネットによる質問票調査にはいくつかの実施・分析上の制約はあるものの、企業内においてはイントラネットの整備など長所も多く見られ、一般人に対する調査と比べれば長所の多い調査方法として考えられる。環境認識調査質問票 WWW 版は、産業医科大学情報管理部に設置されたアップル社製コンピュータ、Power Macintosh 7100/80AV を用いて開発した。質問票の表紙および内容はテキストエディタである Simple Text を用いて HTML で作成し、WWW サーバソフトには MacHTTP 2.2 を使用した。

(2) 調査の実施

調査は関西地方に位置する製造業で最近環境認証を取得するなど環境対策に力をいれている企業の経営者と環境部署の協力をえて2002年に実施した。サーバは産業医科大学のサーバを用い、企業内の調査に賛同する従業員の自由参加者90人が各自の社内のコンピュータから産業医科大学のサーバに設置されているホームページにアクセスする方法を用いた。その際にパスワードが事前に通達され、外部からの誤アクセスを回避した。またプロキシ・サーバを利用することにより個人を特定できない仕組みとし、各自のプライバシーは通常の技術レベルでは守られている。

4. 結果・考察

対象者は全て男性であり、平均年齢は 48.8 歳（標準偏差 7.0 歳）であった。環境に対して関心があると回答した人は全体の 96.6%であった。関心のある分野（複数回答）の結果を表 1 に示す。関心の高かった分野は、大気(82.8%)、水質(77.6%)、産業廃棄物(75.9%)、地球温暖化(70.7%)、生活ゴミ(55.2%)、食料(55.2%)、騒音・振動(51.7%)、オゾン層(51.7%)の順であった。また一人は平均で 7.6 個の分野に関心があると回答していた。環境に関心を持つようになった時期は就職後が 61.5%と最も多く、大学 9.6%、高校 7.7%、小学校 7.7%、中学校 5.8%の順であった。環境に関心を持つようになった情報源（複数回答）を表 2 に示す。として多かったのは、テレビ(77.6%)、新聞(72.4%)、雑誌(44.8%)、本(34.5%)、インターネット(15.5%)の順であった。日本における環境問題の状況の評価を表 3 に示す。日本における状況を悪いまたは非常に悪いと回答した人が多かったのは家庭ゴミ処理(50.9%)、大気(32.7%)、水質(27.3%)、土壤汚染(25.4%)の順であった。逆に砂漠化や食糧供給、エネルギー供給については日本における状況を良いと回答した人が多かった。またいずれの環境問題についても、関心のある分野の数が多いほど、日本における状況を悪いと回答した人の割合が高かった。

図 5 と図 6 に地球環境問題を改善する上で効果的な方策と環境政策について示す。最も効果的な方策としては全世界の努力と回答した人が多く、次いでわが国の努力、地域グループの努力、の順であった。また効果的な環境政策としては世界共通の環境教育の実施と回答した人が最も多く、次いで各国の市民や組織の相互協力、より厳しい国際的な規制や条約の設定と実施、優れた環境対策技術の開発途上国への移転、環境改善のための海外援助の拡大、の順であった。またわが国の環境問題を改善する上で効果的な環境政策としては、政府のより厳しい環境規制の設定と実施、産業界のより一層の努力、環境教育の実施拡大、個人のより一層の努力、の順であった（図 7）。流域で何らかの環境問題が発生した時の地域別責任所在の認識については、川の資源を共有する全ての地域が責任を持ち対策を講ずるべきであると回答した人が最も多く(72.2%)、汚染者のみ責任があると回答した人(14.8%)や、国が責任を持ち対策を講じるべきであると回答した人(5.6%)は少なかった。

会社における環境問題を専門的に担当する部署の必要性については、ほとんど全ての人が必要であると回答した。環境教育を行なう場合の適任者（複数回答）としては、社内の環境関連部署をあげた人が最も多く(56.9%)、次いで外部の環境の専門家(51.7%)、社長・事業部長・工場長など事業の責任者(50.0%)の順であった。環境教育の適任者として社内の産業医(13.8%)、保健婦・看護婦(3.4%)といった産業保健スタッフをあげた人は少なかった。また環境教育に含まれるべき内容（複数回答）としては、実際業務における環境関連情報(91.4%)をあげた人が最も多く、次いで環境関連の法律と社会的仕組み(70.7%)、国内における環境関連の動向(69.0%)の順であった。

表1 関心のある環境の分野（複数回答）

環境の分野	人数	%
大気	48	82.8
水質	45	77.6
産業廃棄物	44	75.9
地球温暖化	41	70.7
生活ゴミ	32	55.2
食料	32	55.2
騒音・振動	30	51.7
オゾン層	30	51.7
環境ビジネス	22	37.9
人口	21	36.2
原子力	20	34.5
土壌・地盤	20	34.5
環境教育	18	31.0
悪臭	18	31.0
熱帯雨林	10	17.2
海洋	10	17.2

表2 関心を持つようになった情報源（複数回答）

情報源	人数	%
テレビ	45	77.6
新聞	42	72.4
雑誌	26	44.8
本	20	34.5
インターネット	9	15.5
広報誌	8	13.8
ラジオ	8	13.8
環境グループのキャンペーン	7	12.1
友人または知人	3	5.2
映画	3	5.2
学校教育	3	5.2

表3 日本における環境問題の状況の評価

環境問題	日本における状況				
	非常によい	よい	ふつう	悪い	非常に悪い
水質	3 (5.5)	17 (30.9)	20 (36.4)	15 (27.3)	0 (0.0)
大気	1 (1.8)	10 (18.2)	26 (47.3)	18 (32.7)	0 (0.0)
土壌汚染	1 (1.8)	10 (18.2)	30 (54.5)	12 (21.8)	2 (3.6)
家庭ゴミ処理	0 (0.0)	13 (23.6)	14 (25.5)	28 (50.9)	0 (0.0)
エネルギー供給	11 (20.0)	18 (32.7)	16 (29.1)	9 (16.4)	1 (1.8)
食糧供給	15 (27.3)	18 (32.7)	10 (18.2)	10 (18.2)	2 (3.6)
砂漠化	25 (45.5)	14 (25.5)	11 (20.0)	2 (3.6)	3 (5.5)

図5 地球環境問題の改善

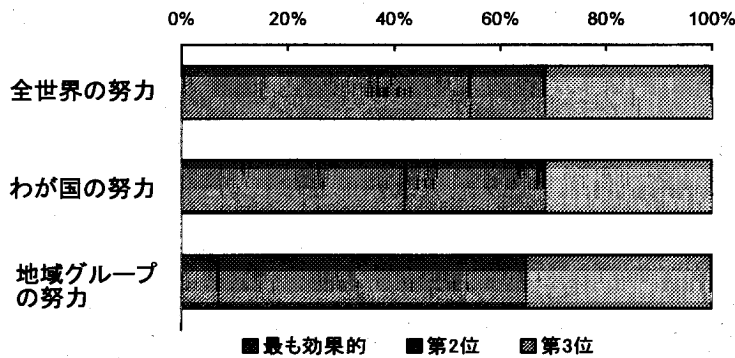


図6 地球環境問題の改善

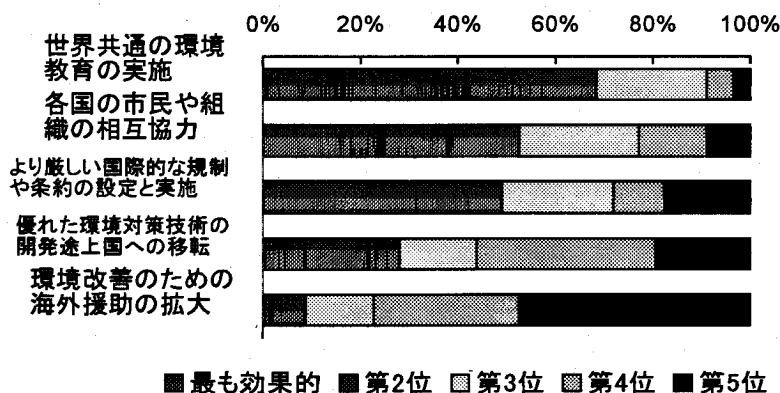
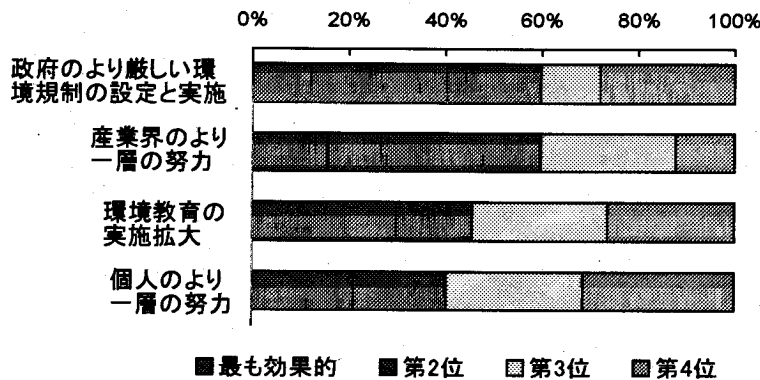


図7 日本の環境問題の改善



環境に対する高い関心は一般人や学生を対象にした他の調査でも見られるもので、環境への関心はいまではごく自然なことである。関心のある分野も平均7.6の多方面にわたって関心を示しておりこの傾向も最近では珍しいものでない。環境が意味するものが特定の分野に限らず、人間を取り囲む周辺として認識されていることを示唆する。働く人々でありながら、産業廃棄物など産業と関係する分野に高い関心を示さなかったこともある意味、環境を対象者が幅広く捉えていると読み取れる。もうひとつは、今回の対象者が管理職と事務職が多かったことが影響した可能性もあり、この問題を明確にするためには、製造業や有害物質を取り扱っている部門の働く人々をもつ環境関連の関心分野との違いを調べる必要がある。

今後より広い範囲の調査で明らかになると思われるが、働く人々にとって教科書や講義などを通じて取得してきた環境関連の情報は、就職をきっかけに身近なものになってきたかもしれない。おそらく環境全般に対する安定した情報の提供といういみでは学校教育が有効であると考えてのが自然であるが、その成果はすくなくとも今回の調査ではあまり認められない。むしろ就職をきっかけにあるいは社会生活を営み始めテレビや新聞などの情報源によって環境に対して関心を持つようになるという一つの流れがあるかもしれない。

環境関心分野の数が多く人々ほど、日本の環境状況が悪いと答える割合が高いという結果が示唆するものとしては、環境への憂慮が関心の広がりに関係していることがあげられる。今回の対象者は流域の環境問題発生時の対策に対して、国など特定の力にたよらずに、環境を共有するすべての人々や地域の人々の協力がより妥当であると考えているようであった。その割合は約7割で、汚染者責任主義の15%や国主導の6%と比べれば明らかである。企業活動における環境テーマは重要であると認識していたのは対象企業が最近ISO14001を取得したこととも関係するが、最近の企業は環境問題をたんなる社会現象と考えず、企業活動の重要な一部として認識をしている。

環境教育の適任者は、関連部署や外部の専門家、責任者の順であり、産業保健スタッフと言われている産業医や産業保健看護職は少ない。この背景には環境問題を社会への企業活動の倫理上の問題や、地域環境までもふくむソサエタルマーケティングの影響があると思われる。しかし、環境担当部署の社員と比べれば、職場巡視などが制度的に整備されている産業保健看護職が現場の関門問題や教育には適していると思われ、この教育担当の適任者に関する調査結果は注意し

て観察する必要がある。

環境教育内容は、企業活動との関連分野が多く、法理や社会的仕組みへ関心が高いことから、現在働いている人々の環境認識は、企業活動と直接関係している環境関連問題の解決に役立つ内容を求めていると考えられた。これらの認識は企業防衛的な発想が背後にあると思われる。より成熟した環境関心としては、地域社会への企業の貢献や社会への還元といった部分への関心が高まることを期待したい。

より広い範囲での環境認識調査で今後明らかになると思われるが、環境全般に対する安定した情報の提供という意味では、学校教育が有効と考えられている。しかし、すくなくとも今回の調査ではその成果は顕著ではない。環境に対する関心は、環境資源利用とその波及効果・影響を実体験することによって、より身近な情報として捉えていることがうかがえた。環境認識調査の対象者が所属する企業が最近 ISO14001 を取得したこととも関係するが、企業および従業員が環境問題をたんなる社会現象と考えず、企業活動の重要な一部として認識することは、影響を考えることのみならず、適切な対策を長期的に立てるためにも重要である。また、環境教育の適任者として調査対象者が選択したのは、関連部署や外部の専門家、責任者の順であり、産業保健スタッフと言われている産業医や産業保健看護職が少なかった。この結果が含む意味は、深刻な警鐘と捉えるべきかもしれない。

5. 本研究により得られた成果

ジャンらが開発し、すでに世界各国の学生や一般市民を対象に調査を行っている環境問題の認識に関する調査票 (Jahng, 1995) を参考に質問票を改良し、インターネットを利用して企業で働く従業員に環境認識調査を実施した。本研究で改良した環境認識調査票は環境問題認識調査において有用であった。

6. 引用文献

Ⅲ. 気候変化による水環境変化に由来する健康影響の評価に関する研究

1. はじめに

多くのウイルス性疾患は季節性を示す。このことは、気象条件が感染症流行に影響することを示唆している。よって、感染症の流行と気象条件との関係を把握することは、近い将来における地球温暖化による感染症流行への影響を予測する上で重要と考えられる。本研究では、代表的な夏季流行感染症である手足口病やヘルパンギーナ、無菌性髄膜炎等の流行と気象条件との関係を明らかにするとともに冬季の代表的呼吸器感染症であるインフルエンザの流行周期予測とそのインフルエンザ流行周期に対する数学モデルを構築した。

2. 研究目的

本研究では、温暖化による感染症流行予測のため、以下の三つの項目に分けて研究を遂行した。

(1) 夏季流行感染症流行に影響する気象条件の検討： 夏季流行感染症である手足口病、ヘルパンギーナ、無菌性髄膜炎の地域流行状況と地域気象条件の相関関係を検討し、温暖化による感染症流行への影響を予測する。(2) Recursive partitioning を用いたインフルエンザ流行周期の予測： インフルエンザ流行周期は年によって異なるため、気象条件によるインフルエンザ流行周期を予測するモデルを構築・検討する。(3) インフルエンザ流行周期に対する数学モデル構築： 12 の気象に関するパラメーターとインフルエンザ週間報告数の関係の多変量解析並びに蒸気圧と人口動態の条件も加味した数学モデルの東京と大阪での構築、更に地球温暖化による患者数の変化の程度、あるいはワクチン接種量によるインフルエンザ流行の変化の程度について予測する。

3. 研究方法

(1) 夏季流行感染症流行に影響する気象条件の検討： 国立感染症研究所、感染症情報センターより、1987 年から 1997 年までの全国各都道府県の週間手足口病報告数、週間ヘルパンギーナ報告数、月間無菌性髄膜炎報告数と気象庁発表の各都道府県県庁所在地の地上観測データ（海面気圧、地上気圧、日最高気温、1 週間あたり最高気温が 25℃を超えた日数、1 週間あたり最高気温が 30℃を超えた日数、日最低気温、1 週間あたり最低気温が 0℃を下回った日数、日最低気温、1 週間あたり最低気温が 25℃を上回った日数、日平均気温、相対湿度、蒸気圧、風速、雲量、日照時間、不照日数、日照率、日射量、降水量など合計して 40 項目以上）週平均の関係を多変量解析等で解析した。気象条件に関しては感染症報告の前週のものを用いた。週間手足口病報告数、週間ヘルパンギーナ報告数、月間無菌性髄膜炎報告数に関しては、各都道府県でまとめ、1987 年から 1997 年の 11 年間の平均報告数に対して何倍に相当するかで示した。なぜなら、各都道府県により報告数が異なり、絶対数を用いて各都道府県間で比較するわけにはいかないからである。

(2) Recursive Partitioning を用いたインフルエンザ流行周期の予測： 国立感染症研究所、感染症情報センターより、1987 年から 1997 年までの東京と大阪の週間インフルエンザ報告数と気象庁発表の地上観測データ（海面気圧、地上気圧、日最高気温、日最低気温、日平均気温、相対湿度、蒸気圧、風速、雲量、日照時間、不照日数、日照率、日射量、降水量）週平均の関係を多変量解析と recursive partitioning model を用いて予測検討した。気象条件に関してはインフルエンザ報告の前週のものを用いた。週間インフルエンザ報告数は、level 1: 0/9, level 2: 10/99, level 3: 100/499, level 4: 500/Max に分けて考えた。そしてモデルの妥当性に関しては、1999 年から 2000 年のデータをどの程度予測できるかで検定した。多変量解析を行う際、STATA7.0 を用い、recursive partitioning には Clementine を用いた。

(3) インフルエンザ流行周期に対する数学モデル構築： 国立感染症研究所、感染症情報センターより、1987 年から 1997 年までの東京と大阪の週間インフルエンザ報告数と気象庁発表の地上観測データ（海面気圧、地上気圧、日最高気温、日最低気温、日平均気温、相対湿度、蒸気圧、風速、雲量、日照時間、不照日数、日照率、日射量、降水量）週平均の関係を多変量解析を用いて予測検討した。気象条件に関してはインフルエンザ報告の前週のものを用いた。

4. 結果・考察

(1) 夏季流行感染症流行に影響する気象条件の検討結果及び考察: 図1～3に示すとおり、ヘルパンギーナは6月から7月にかけて強いピークを示し、手足口病、無菌性髄膜炎では7月から8月であった。ヘルパンギーナでは、そのサイクルは1987年から1997年において比較的一定していたが、手足口病、無菌性髄膜炎では一定の傾向を見出せず、年によって大きく変化した。手足口病に関しては、大きな流行を示した翌年およびその後2-3年は小流行にとどまるようにもみえるが、観察年数が少なくそこまではいえない。

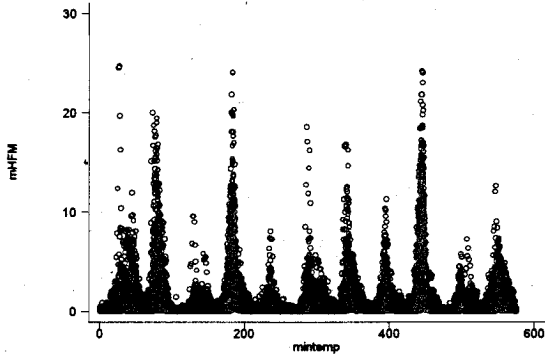


図1 手足口病の流行曲線 (1987年から1997年まで)

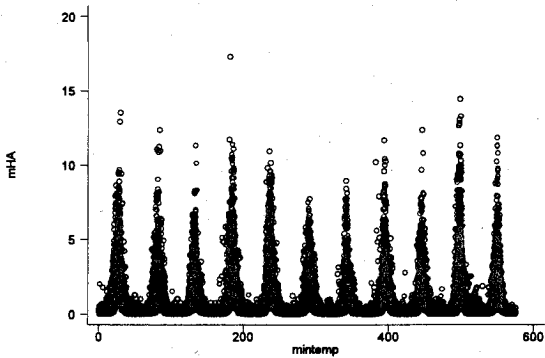


図2 ヘルパンギーナの流行曲線 (1987年から1997年まで)

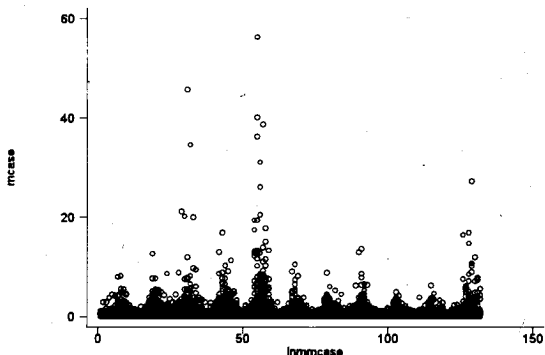


図3 無菌性髄膜炎の流行曲線 (1987年から1997年まで)

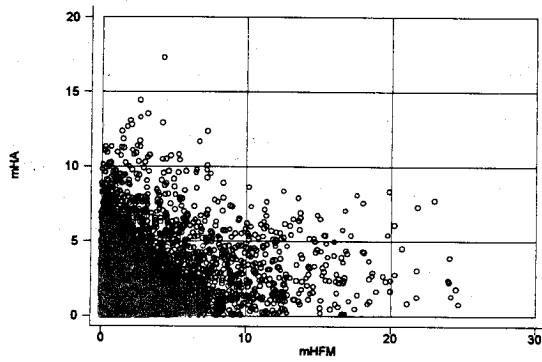


図4 平均気温とヘルパンギーナと手足口病の関係

図4に平均気温とヘルパンギーナと手足口病の関係を示した。各週における手足口病とヘルパンギーナの相関係数は0.44($p < 0.0001$)であった。ヘルパンギーナでは、気温が17℃に達すると急速に増え、25℃をピークにそれ以上平均気温が高いときには減少する傾向にあった。一方、手足口病では、平均気温の上昇とともに徐々に増加し、22℃をピークに減少する傾向にあった。無菌性髄膜炎に関しては、手足口病に類似した傾向を示したものの、明確な傾向は見出せなかった(図5~7)。それぞれの疾患について気象条件をもとに多変量解析したところ、平均気温が1℃上昇することにより、ヘルパンギーナでは12%、手足口病では8%、無菌性髄膜炎では9%、その頻度が増加することが予想された。

気温と手足口病、ヘルパンギーナ、無菌性髄膜炎は先に示した通り、一定の関係を示したが、必ずしもリニアな関係ではなかった。

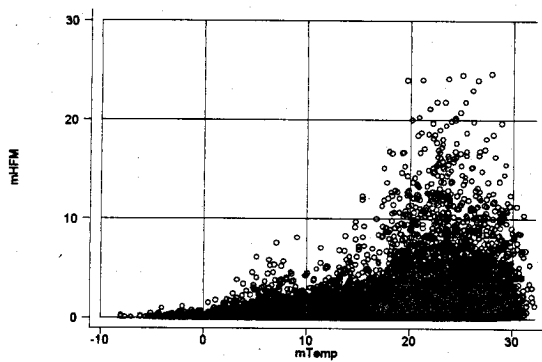


図5 平均気温と手足口病の関係

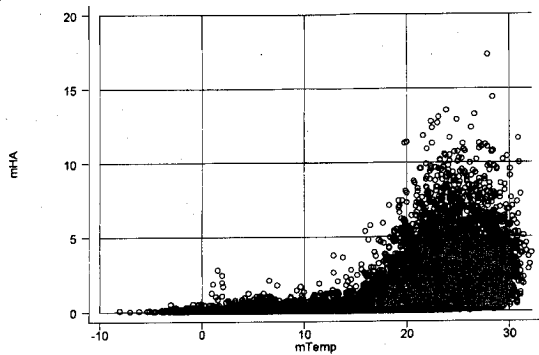


図6 平均気温とヘルパンギーナの関係

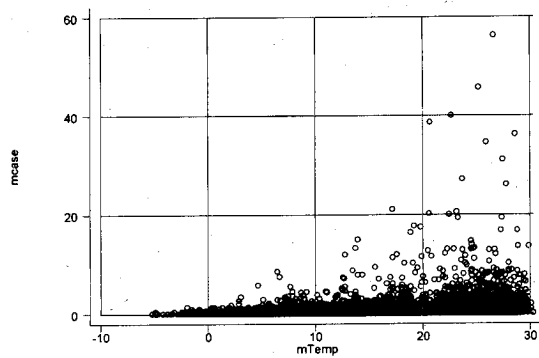


図7 平均気温と無菌性髄膜炎の関係

以上、夏季流行感染症流行に影響する気象条件の検討した結果、ヘルパンギーナの発生頻度は気温17度を超えると急に増加し、25度をピークに、それ以上気温が高いとむしろ減少した。一方、手足口病では気温の上昇とともに比較的に線性的な関係を示していた。そして、気温が22度を超えると減少に転じた。無菌性髄膜炎発症と気温との関係は手足口病のそれと類似した。これら3疾患の夏季に多く冬減少するサイクルは、ヘルパンギーナにおいて毎年一定していたが、手足口病では年によって大きな差を認めた。両者の同地区同時期の相関関係は0.44であった。無菌性髄膜炎は1989年と1991年に局地的流行をみているが、手足口病の流行とは一致しなかった。気温に加えて湿度が高いと発生頻度は増加したが、日照時間が増加する、あるいは降雨量が一定以上になると発生頻度は低下した。無菌性髄膜炎では、相対湿度と降雨量に加えて平均雲量も流行に関与していた。気温を含む気象条件が手足口病、ヘルパンギーナ、無菌性髄膜炎の発生に関与していた。年間平均気温1度の上昇はこれらの疾患発生頻度をおよそ10%押し上げる事が予想された。

(2) recursive partitioning を用いたインフルエンザ流行周期予測の結果及び考察

①インフルエンザ罹患率

1987 年から 1997 年までの東京、大阪のインフルエンザ報告レベルを表 1 に示した。最も多い週では、5,000 名の報告を超えた。レベル 4 は全体の 14%、レベル 3 は全体の 12.5%、レベル 2 はインフルエンザがくすぶっている状態であり、全体の 1/4 を占め、レベル 1 は全体の半分を占めた。

1998 年以降、サーベイランスシステムに多少の変更が生じたため、我々は、1987 年から 1997 年でモデルを構築し、1999 年と 2000 年のデータでその妥当性を検証する形をとった。東京では週間平均報告数 245 人、大阪 359 人であり、若干少ない傾向にあった。

表 1 Levels of FLU prevalence in Tokyo and Osaka between 1987 and 1997.

level†	Tokyo			osaka		
	Number*	Mean±SD	Min/Max	number	Mean±SD	Min/Max
1	246	3.2±2.9	0/9	283	2.3±2.9	0/9
2	153	36±24	10/97	141	30±22	10/97
3	77	241±111	101/495	70	227±178	100/473
4	99	1989±1218	516/5579	81	1815±971	526/5214
total	575	386±892	1/5579	575	257±647	0/5214

† level 1: less than 10, level 2: equal and more than 10 and less than 100, level 3: equal and more than 100 and less than 500, level 5: equal and more than 500.

* Number: Number of weeks between 1987 and 1999.

② 個々の気象変数とインフルエンザ報告数との関係

まずは、個々の気象変数とインフルエンザ報告数の関係を検討した。蒸気圧と気温に関しては、明らかな関係が見出された。しかし、リニアな関係というよりは、閾値モデルの方が適切と考えられた。このことは、多変量解析で検討するよりも recursive partitioning で検討することの妥当性を示唆している。

③ 多変量解析

次に我々は多変量解析を施行した。各気象変数はお互いに関連しあっているため、同時に解析する必要があるからである。多変量解析モデルにより、インフルエンザ罹患レベルの 76% から 69% は気象により説明されると結論された。東京、大阪において、暦月、相対湿度、蒸気圧、日照量が相関を示した (表 2-A, B)。気温に関係するものは、日最高、日最低、日平均、湿度関係の因子と同時解析することにより有意性を失った。つまり、暦月、相対湿度、蒸気圧がインフルエンザ罹患レベルを規定する最も重要な気象条件と考えられた。

表2 Multi-regression analysis of relationship between climate parameters and level of influenza prevalence from data between 1987 and 1997

A: 東京

Tokyo	t	P> t	95% CI*	
Calendar month	-3.61	0.000	-0.06	-0.02
Mean T*1	-0.81	0.420	-0.35	0.15
Max T*2	-0.48	0.630	-0.18	0.11
Min T*3	-1.15	0.252	-0.22	0.05
Relative humidity*4	-4.41	0.000	-0.05	-0.02
Ground P*5	0.94	0.349	-0.54	1.53
Sea P*6	-0.95	0.345	-1.53	0.54
Vapour pressure*7	7.22	0.000	0.11	0.19
Ave wind speed*8	0.29	0.773	-0.09	0.12
Ave cloud mass*9	1.56	0.120	-0.01	0.13
Sun time*10	0.89	0.373	-0.02	0.05
Sun rate*11	0.06	0.955	-0.03	0.03
Solar radiation*12	-2.60	0.010	-0.13	-0.02
Precipitation*13	-0.84	0.402	-0.002	0.001

*CI: confidence interval

*1: weekly mean air temperature (centigrade), *2: the week average of daily maximum temperature (centigrade), *3: the week average of daily minimum temperature (centigrade), *4: weekly mean relative humidity (%), *5: weekly mean station pressures (hPa), *6: weekly mean sea level pressures (hPa), *7: weekly mean vapour pressure (hPa), *8: weekly mean wind speed (m/s), *9: weekly mean cloud amount, *10: duration of sunshine for the week (hours), *11: rate of sunshine for the week (%), *12: weekly mean flux of global solar radiation (MJ/(m*m)), *13: amount of precipitation for the week (mm)

** : Number of sunless days was used to analyze but dropped by collinearity.

B: 大阪

Osaka	t	P> t	95% CI*	
Calendar month	-4.62	0.000	-0.08	-0.03
Mean T*1	-0.02	0.984	-0.25	0.24
Max T*2	-0.96	0.340	-0.20	0.07
Min T*3	-1.96	0.050	-0.28	0.0001
Relative humidity*4	-2.65	0.008	-0.04	-0.006
Ground P*5	0.52	0.604	-0.02	0.03
Sea P*6	0.35	0.727	-0.03	0.04
Vapour pressure*7	6.80	0.000	0.11	0.20
Ave wind speed*8	0.35	0.728	-0.07	0.11
Ave cloud mass*9	1.33	0.183	-0.02	0.12
Sun time*10	1.10	0.272	-0.015	0.05

Sun rate*11	-0.54	0.591	-0.03	0.02
Solar radiation*12	-2.00	0.046	-0.09	-0.0007
Precipitation*13	-1.58	0.115	-0.003	0.0003

*CI: confidence interval

*1: weekly mean air temperature (centigrade), *2: the week average of daily maximum temperature (centigrade), *3: the week average of daily minimum temperature (centigrade), *4: weekly mean relative humidity (%), *5: weekly mean station pressures (hPa), *6: weekly mean sea level pressures (hPa), *7: weekly mean vapour pressure (hPa), *8: weekly mean wind speed (m/s), *9: weekly mean cloud amount, *10: duration of sunshine for the week (hours), *11: rate of sunshine for the week (%), *12: weekly mean flux of global solar radiation (MJ/(m*m)), *13: amount of precipitation for the week (mm)

** : Number of sunless days was used to analyze but dropped by collinearity.

多変量解析で得られた coefficient を用いて、インフルエンザ罹患レベル予測式を構築した。この公式に 1999 年から 2000 年のデータを入れ、インフルエンザ罹患レベルを予測した。そして、実際に観察されたインフルエンザ罹患レベルと比較して、その精度を算出した (表 3-A, B)。その結果、東京では 12%、大阪では 67% の一率であった。

表 3 Climate data between 1999 and 2000 was introduced into multi-regression model and predicted levels of influenza prevalence were compared with actual levels.

A: 東京

	actual level 1	actual level 2	actual level 3	actual level 4	total
Predicted level 1	0	0	0	0	0
Predicted level 2	25	2	0	0	27
Predicted level 3	24	10	0	2	34
Predicted level 4	6	6	1	2	15
Predicted level 5	0	5	2	3	10
Predicted level 6	0	0	2	3	5
Total	55	23	5	8	91
Sensitivity	0	9	0	25	
Specificity	100	63	59	84	

B: 大阪

	actual level 1	actual level 2	actual level 3	actual level 4	total
Predicted level 0	2	0	0	0	2
Predicted level 1	43	8	0	0	51
Predicted level 2	4	10	6	3	23
Predicted level 3	0	2	5	7	14
Predicted level 4	0	0	0	1	1

Total	49	20	11	11	91
Sensitivity	88	50	45	9	
Specificity	81	82	89	100	

④ Recursive partitioning model

1987-1997、11年間のインフルエンザ罹患レベルのデータと各気象変数を用いて recursive partitioning model を構築し、これを用いて 1999-2000 のインフルエンザ罹患レベルを予測した。そして、実際に観察されたインフルエンザ罹患レベルと比較したのが表 4-A, B である。東京では 80%、大阪では 96% の一^レ率であった。多変量解析モデルと比較すると極めて高い一^レ率であるといえる。

表 4. Climate data between 1999 and 2000 was introduced into recursive partitioning model and predicted levels of influenza prevalence were compared with actual levels.

A: 東京

	actual level 1	actual level 2	actual level 3	actual level 4	total
Predicted level 1	47	3	0	0	50
Predicted level 2	7	16	0	0	23
Predicted level 3	1	0	2	0	3
Predicted level 4	0	4	3	8	15
Total	55	23	5	8	91
Sensitivity (%)	85	70	40	100	
Specificity (%)	92	90	99	92	

B: 大阪

	actual level 1	actual level 2	actual level 3	actual level 4	total
Predicted level 1	49	0	1	0	50
Predicted level 2	0	20	1	0	21
Predicted level 3	0	0	8	1	9
Predicted level 4	0	0	1	10	11
Total	49	20	11	11	91
Sensitivity (%)	100	100	73	91	
Specificity (%)	98	99	99	99	

以上のように、1987年から1997年のデータを多変量解析した結果、インフルエンザ流行の76-69%は湿度および気温を中心とする気象条件により説明されると考えられた。この多変量解析で得た変数を用いて予測式を構築し、1999-2000年のインフルエンザ報告数の予測精度を検討したところ、東京で12%、大阪で65%と不良であった。一方、recursive partitioning modelで予測した場合、その精度は東京で80%、大阪で96%であった。又、recursive partitioningはインフルエンザの流行周期をかなりの精度で予測できると考えられた。

(3) インフルエンザ流行周期に対する数学モデル構築の結果及び考察

12 のパラメーターのうち、気温と蒸気圧が統計学的に有意な因子として浮かび上がった ($p < 0.0005$) (図 1-a, b)。前の研究で示したものと基本的には同じである。そして、蒸気圧と平均気温は非常に強い相関関係にあった ($r = 0.97$) (図 2)。

図 1-a 東京

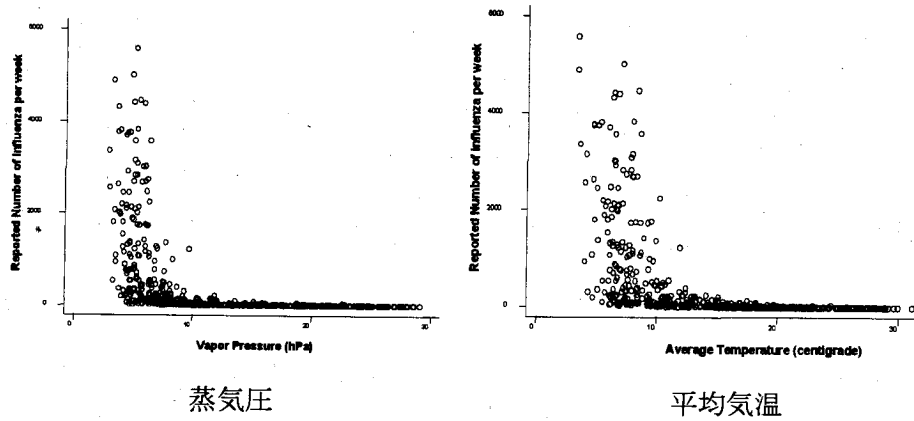


図 1-b 大阪

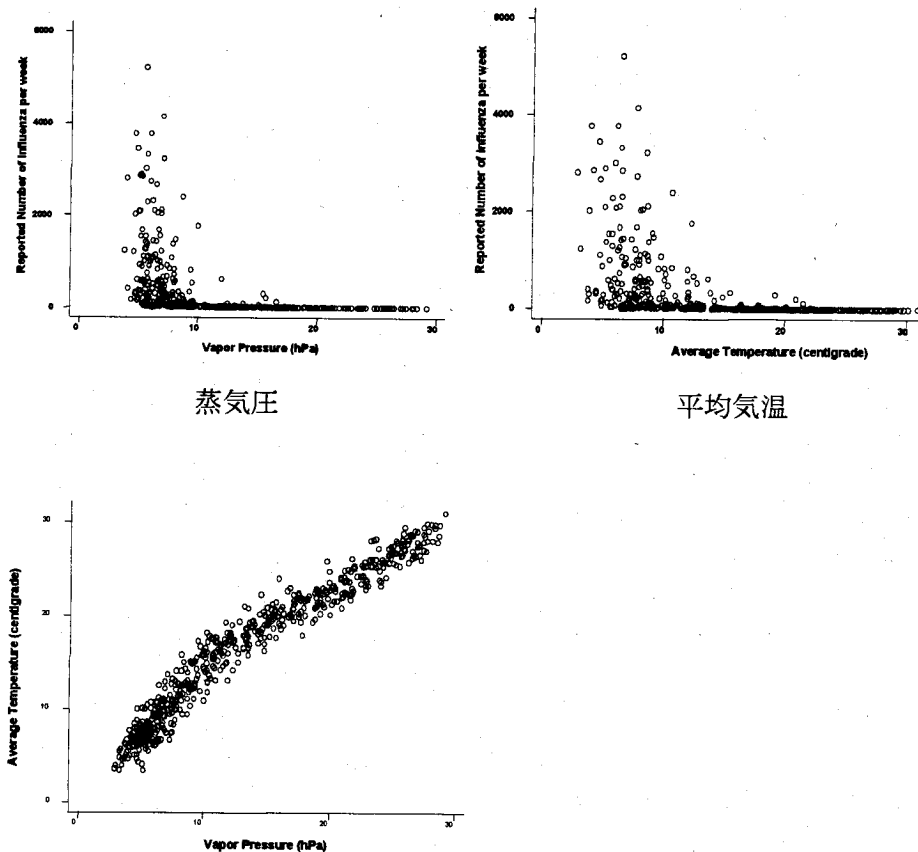


図 2 蒸気圧と平均気温の関係

人口動態として、インフルエンザ未感染者(S)から毎週一定数(dS/dt)の感染者(S)が発生すると考える。そして、感染者の中から一定数(dR/dt)の患者が回復する(R)。感染期間は簡便のため1週間と設定した。

$$I_n = I_{n-1} - dS/dt - dR/dt$$

I_n : number of people during infectious period at present week (n)

I_{n-1} : number of people during infectious period at previous week (n-1)

S: number of susceptible population

dS/dt: changes of susceptible population during the week = $- S_n \times I_n \times k$

dR/dt: changes of resistant population during the week = I_n

k: constant

しかし、これだけでは、実際のインフルエンザ流行周期と一致しない。上記人口動態モデルに平均気温あるいは蒸気圧の要素を加え実際のインフルエンザ流行周期となるべく合致するように調整し、以下の公式を得た。

$$S_n = S_{n-1} + I_{n-1} + VP_n \times 5 + 150$$

Tokyo: $S_0 = 15,000$, Osaka: $S_0 = 12,000$

$$dS/dt = - S_n \times I_n \times k \times 500/VP_n^2 - (25 - VP_n) \times (25 - VP_n) \times 0.1 - (25 - VP_n) - 5 = I_{n+1}$$

K: Tokyo: 0.000005, Osaka: 0.000007

平均気温よりも蒸気圧を用いた方が高い一致をみた。東京、大阪における週間インフルエンザ報告数は平均245、359であった。年間流行サイクルは図3に点線で示した通りで、11月ころより増え始め、1月にピークを示し、2月には収束に向かう傾向を示したが、年度によって異なった。上記公式を用いた結果を実線で示したが、実際のインフルエンザ流行サイクルと蒸気圧と人口動態を加味したモデルはほとんど一致した。しかし、そのピークは必ずしも一致していなかった。このことより、流行サイクルは気象条件、特に蒸気圧、平均気温により左右される部分が強いが、各サイクルのピーク値はウイルスの型や、人々の免疫状態によるのではないかと考えられた。

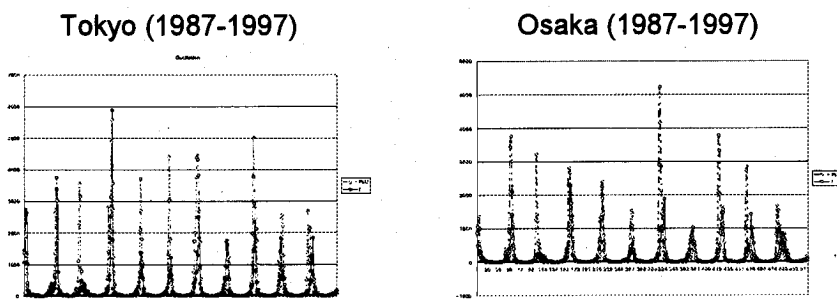


図3 インフルエンザの年間流行サイクル

その点で、このモデルは不十分ではあるが、蒸気圧が +2 hPa, +5 hPa, +10 hPa, +15 hPa のとき、インフルエンザ発生数がどのように変化するかを計算してみた。そうすると、東京/大阪でそれぞれ 96/96%, 86/87%, 52/56%, 9/15% に減少することが予想された (図 4)。

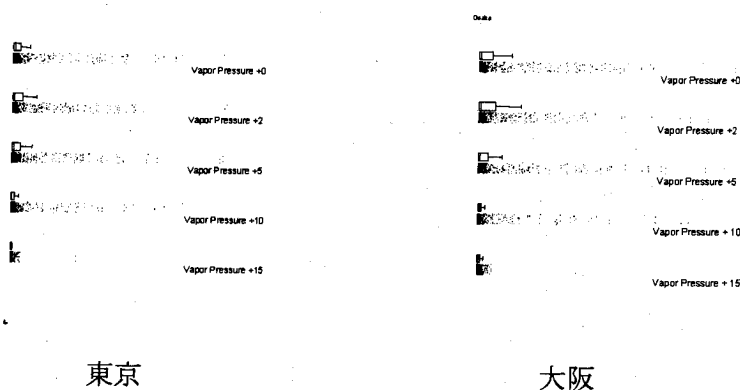


図 4 蒸気圧変化によるインフルエンザ発生数の変化

以上、12 の気象に関するパラメーターとインフルエンザ週間報告数の関係を多変量解析し、又、蒸気圧と人口動態の条件も加味した数学モデルを東京と大阪において構築した。インフルエンザ流行は秋から冬にかけて徐々にはじまり、ピークをむかえ、収束するサイクルを毎年繰り返したが、その時期や持続期間は年度により異なっていた。我々が構築した数学モデルはこの流行サイクルとほとんど一致した。

5. 本研究により得られた成果

夏季流行感染症 (手足口病、ヘルプアンギーナ、無菌性髄膜炎) の流行に影響する気象条件の検討や Recursive partitioning を用いたインフルエンザ流行周期の予測、さらにインフルエンザ流行周期に対する数学モデルの構築等を行った。気温を含む気象条件が手足口病、ヘルプアンギーナ、無菌性髄膜炎の発生に関与し、年間平均気温 1 度の上昇はこれらの疾患発生頻度をおよそ 10% 押し上げることが予想された。又、Recursive partitioning は気象条件によるインフルエンザの流行周期をかなりの精度で予測できると考えられた。

6. 引用文献 なし

[国際共同研究の状況] なし

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表

- ①岡部信彦: プライマリ・ケア, 24(3), 225-226(2001)「インフルエンザ-ウイルスの変化と患者発生動向調査-」
- ②岡部信彦: 厚生学の指標 48(6):1-7(2001)「感染症発生動向調査について -感染症法と感染症サーベイランス-」

- ③岡部信彦：日本内科学会雑誌、90(9), 1733-1737 (2001)「感染症法から見た新興・再興感染症」
- ④岡部信彦：小児内科、32(1), 7-13 (2000)「日本及び世界における感染症と行政における対策-感染症新法の施行と感染症サーベイランスの実施-」
- ⑤岡部信彦：小児科、40(10), 1342-1350 (1999)「手足口病と小児の死亡例」

(2) 口頭発表

- ①浦島 充佳、進藤 奈邦子、岡部 信彦：日本小児感染症学会 (2001) 「口演手足口病 / ヘルプアンギーナ / 無菌性髄膜炎を流行させる気象条件」
- ②浦島 充佳、進藤 奈邦子、岡部 信彦：成医学会 (2001) 「手足口病 / ヘルプアンギーナ / 無菌性髄膜炎を流行させる気象条件」

(3) 出願特許 なし (4) 受賞等 なし (5) 一般への公表・報道等 なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について なし