

37. 地球温暖化の日本への影響～暑熱の人間健康への影響評価について～

Potential Impact of Global Warming on Human Health in Japan

原沢英夫*・本田靖*・内山巖雄**・佐々木昭彦**

Hideo HARASAWA*, Yasusi HONDA*, Iwao UCHIYAMA**, Akihiko SASAKI**

ABSTRACT: Climate change is likely to have mostly adverse direct and indirect impacts on human health. Direct health impacts are increase in mortality due to an increase in the intensity and duration of heat waves. The potential impact of temperature increase on human mortality in Japan is analyzed based on the temperature - mortality relationship and an estimated future population in 2050. It is concluded that:

- 1) assuming 3°C increase in 2050, the population at risk will be doubled compared to the current population. About 9 % of such population at risk is due to warming, and the remaining is due to change in population structure.
- 2) global warming is likely to have favorable impact on mortality in cold and cool season as suggested in the IPCC Second Assessment report.
- 3) potential adverse impact in urban area will be significant in 2050 because of concentration of population.

KEYWORD: Global Warming, Health Impact, Heat Stress

1. はじめに

IPCCの第二次評価報告書は、人間の健康への影響について直接・間接を問わず悪影響があること、直接的な影響では暑熱・熱波が増大するために死亡や疾病が増加すること、間接的な影響ではマラリアなどの動物媒介性疾病の感染地域が拡大することなどが予測している。

本報告は、温暖化の日本への影響のうち人間の健康への直接的影響、とくに気温上昇による死亡率の変化を検討したものである。まず、過去19年間の個人の死亡データと日最高気温の関連分析から得られた気温－死亡率の関係をを用いて、気温上昇の死亡への影響を評価するためのフレームワークを示す。続いて1990年（現状）と2050年を対象として、1, 2, 3°C気温上昇した場合の影響を、新たな指標（影響人口、死亡リスク）を導入して検討する。気温－死亡率の解析から、65歳以上の高齢者人口がとくに気温の上昇に対して脆弱であることから、2050年の都道府県人口の予測を行った上で、影響人口、死亡リスクを算定した。算定結果をもとに、①温暖化と人口構成の変化の影響比較、②季節的な影響比較、③地域別の影響比較、④男女別の死亡リスク変化の特徴について考察した。

2. 既存の知見

2.1 IPCCの第二次評価報告書における健康影響

温暖化の影響を扱っているIPCCの第二作業部会では、多くの分野における影響や適応の可能性について最近の研究成果がレビューされている。健康分野における影響については、直接・間接を問わず、その多くが悪影響であること、例えば、健康への直接影響として、予測される熱波の強度と持続期間の増加による死亡（主に心臓－呼吸器系）や疾病が増加することが予測されている。一方、寒冷地の気温上昇は、寒さに関連した死亡の減少をもたらすとしている（環境庁、1996）。

2.2 暑熱による健康影響の研究レビュー

暑熱による人間の健康影響については、表－1に示したような研究がある。Smithらは米国環境保護庁の実施した総合的な温暖化影響調査において、健康分野への影響の一環として熱ストレスと死亡率に関する検討を行っている。ニューヨーク、ロサンゼルス、シカゴなど12都市の気温と死亡者数の統計データを解析した結果、気温28°Cを超えると、一日の平均死亡者数が増えることを報告している（Smith et al., 1989）。国、地域、都市レベルでの気温と死亡の関係を求めるとともに、関連する要因につ

* 国立環境研究所, National Institute for Environmental Studies

** 国立公衆衛生院, Institute of Public Health

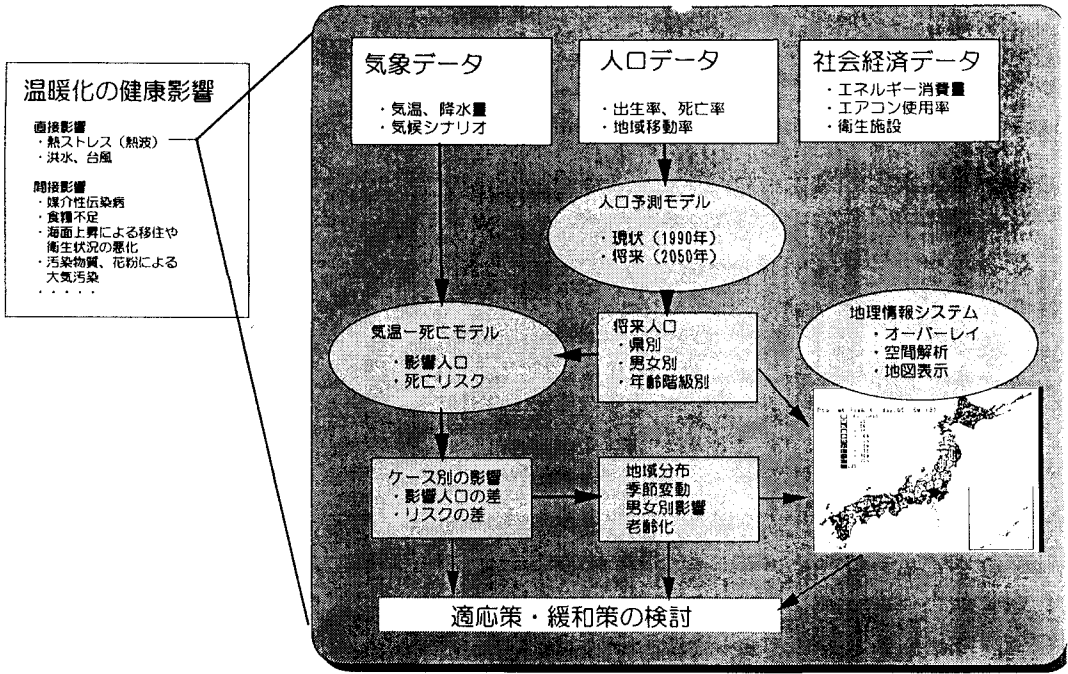
いて検討している研究もある(Kunst, Rogotらの研究)。

3. 健康リスク評価のフレームワーク

図－1は、温暖化の健康影響評価のフレームワークを示したものである。用いたデータや地理情報、モデルと評価の手順について示している(原沢ら, 1997)。気象データ、地域の人口、社会・経済データなどを収集し、地理的情報として加工、蓄積した地域データベースを構築するとともに、気温と死亡率に関する本田らの研究成果(本田ら, 1995)や人口予測モデルなどの健康リスク評価のための予測モデルを準備した。さらに解析や結果の表示を行うために地理情報システム(GIS: Geographical Information System)を用いた。地域データベースをもとに、将来人口増加と気温変化のシナリオを想定して、各種のケースについて評価を行った。

表－1 気温上昇による健康影響の研究事例

研究者	対象地域	主要な知見
Rogot E, 1976	米国32都市	死亡率が日平均気温15.6-26.6℃でV字型を示す(1962-66のデータを使用。暑熱で死亡率が上昇。熱中症のみでなく心疾患, 呼吸器疾患などによる影響。
Smith et al., 1989	米国, 12都市	温暖化による死亡率の変化。それを修飾する適応についての検討。
Rogot, E. et al., 1992	米国	暑熱時に疾病リスクを下げるためのエアコンの便益の検討。
Kunst, A.E. et al., 1993	オランダ	日死亡率と日気温の関係を1979-87について検討。インフルエンザ, 大気汚染, 季節をコントロール。風速, 相対湿度, 死因について検討。死亡率と外気温が20-25度を境に変化。
Kalkstein, L.S., 1994	ニューヨーク, 上海等	エアコン, 大気汚染などについてまとめた。
本田ら, 1995	九州	九州における日最高気温と死亡率の関係はV字型を示し最低の死亡率は, 28-33℃で見られる(特に65歳以上)



図－1 温暖化の健康影響評価のフレームワーク(原沢ら, 1997)

3.1 健康リスク評価のためのデータベース

(1) 気温データ

温暖化の影響評価にあたっては、将来の気温・降水量変化を示す気候シナリオが必要となる。しかし、現在入手しえる大気大循環モデル(GCM)による気候シナリオは、数百kmのメッシュに関する気候値が得られるのみであり、地域気候モデルの開発が進んでいるが日本のように国土の狭い国を地域レベルで充分対応する精度にはない。そこで、今回の解析では、影響評価の簡便な方法として用いられる気温を任意に変える方法をとった。具体的には、過去の平均的気温をもとに、1, 2, 3℃上昇した場合を想定した (Carter et al., 1994)。

・気象データ

気象データは、アメダスデータ (1976-1986 年) とDSPデータ (1987-1993 年) の計18年間の日データをもとに日最高気温を求めた上で、月毎に18年間の平均値等を求めた。今回は、都道府県を代表する気温測定地点として、県庁所在地にある観測地点のデータを利用した。気温-死亡リスクモデルに入力する代表値としては、日最高気温データを月別に18年間プールし、平均値をとったもの (日最高気温の長期平均値: 月別値) を用いた。図-2は日最高気温の長期平均値、最高値、最低値、標準偏差の例 (東京) を示したものである。

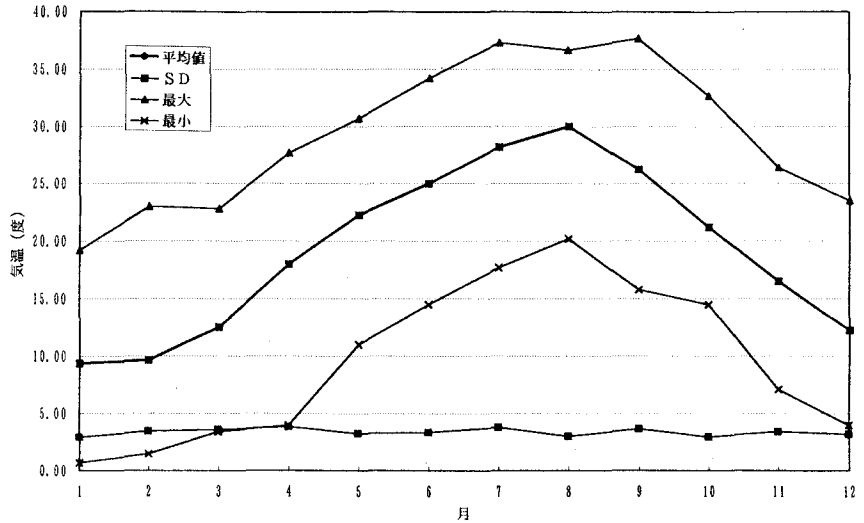


図-2 日最高気温の長期平均値 (東京)

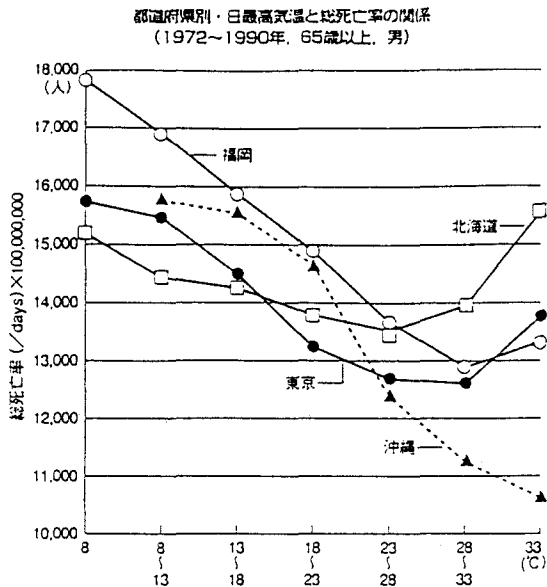


図-3 日最高気温と総死亡率の関係

(2) 気温-死亡リスクモデル

本田ら (1995)の研究から得られた県別、男女別の日最高気温と死亡率のV字型の関係モデル (以下、気温-死亡リスクモデルと呼ぶ) を用いた。図-3は、東京等における気温-死亡リスクモデルの原データをプロットしたものである。縦軸は1日当たりの総死亡率に 10^8 ($1/\text{日} \times 10^8$) を掛けた値を用いている。65歳以上の人口集団で気温と死亡率とにV字型の関係がみられる。東京の場合、 33°C を超えると死亡率が増加する傾向が見られる。福岡では 33°C 、北海道では 28°C を境に日最高気温と総死亡率の関係がV字型で変化するが、沖縄ではその傾向は見られない。日本のように南北に長く気候条件も地域によって変化があることを考慮して、都道府県別、男女別の気温-死亡リスクモデルを利用することとした。

(3) 県別人口の将来予測

温暖化による気温上昇の相対的な影響が図-3に示されているわけであるが、対応策などを検討する場合には、各地域で何人が影響を受けるか絶対数が問題となる。温暖化といった将来の気候による

影響を検討するために、人口についても将来値を用いることがより適切であると考え、県別・男女別人口の将来予測モデルを既存の研究事例をもとに構築し、それを用いて2050年までの人口予測を行った。厚生省社会保障・人口問題研究所の1990－2010年の県別将来推計人口と、2090年までの日本の推計総人口の参考値(厚生省社会保障・人口問題研究所, 1994a; 1994b)を元に、コーホート要因法を用いて県別の将来人口を5年間隔で推計し、2050年までの県別人口を推定した。純移動率が減少した場合を1990-2010 年について県別に再現し、2010年の出生率、移動率、生存率を用いて2050年まで計算した。同研究所の推定値のトレンドがほぼ再現できた。1990年の65歳以上の人口の比率は約12%, 2050年には人口の比率で30% になると想定され、2050年前後で65歳以上の高齢化人口の比率が最も高くなると予想される。

(4) 影響人口、死亡リスク

- 気温－死亡リスクモデルより求める影響人と死亡リスクを次のように定義した。
- ・ 影響人口 (死亡数の推定値) : 現状及び将来の日最高気温の長期平均値 (月別) を入力として気温－死亡リスクモデルから計算される死亡数で影響を受ける人口の絶対数 (単位は、人/日)。
 - ・ 死亡リスク (リスク指標値) : 影響人口を人口 (この場合は県人口) で割った値。県人口で割ること、標準化していることから、現在と将来の比較が容易である。

影響人口及び死亡リスクは、日最高気温の長期平均値 (月別) から、県別、男女別の気温－死亡リスクモデルを用いて、県別、男女別の影響人口と死亡リスクを月別に計算を行った。計算を行ったケースは次のとおりである。

- ケース1 : 1990年 (現状)
- ケース2 : 1990年 (+1, 2, 3度上昇)
- ケース3 : 2050年 (+0度, 現状と同じ)
- ケース4 : 2050年 (+1, 2, 3度上昇)

上記の指標計算の前提条件は次の通りである。①65歳以上の人口を対象としたこと、②死亡の要因が変化しない、また気温上昇に対する適応は考慮していないこと、③また、気温－死亡リスクモデルは、一定気温範囲 (5℃間隔) に対して死亡率を与える階段関数として与えたこと。

4. 結果と考察

4.1 月別、気温上昇別の影響人口

月別、気温上昇別 (ケース別) に影響人口と死亡リスクを示したものが、表－2である。気温上昇の影響の大きい65歳以上の人口を対象に、都道府県ごとに得られた月毎の値をたして、全国値として集計した値である。1990年で、1642 人/日(8月)～2110人/日(1月)が、2050年に+3℃上昇した場合、3455(6月)～4389 (1月) とほぼ2倍となる。表－2には併せて、死亡リスクを示している。死亡リスクで見ると、 $133\sim171\times10^{-7}$ 1/日が $309\sim392\times10^{-7}$ に変化する。

4.2 温暖化と人口構成の変化 (高齢化)

例えば、2050年で+3℃気温上昇した場合の影響人口を $P_{2050}(+3)$ と記す。温暖化による影響は、 $P_{2050}(+3)-P_{2050}(+0)$ で表されるので、 $P_{2050}(+0)-P_{1990}(+0)$ はその他の要因

表－2 月別、気温上昇別の影響人口、死亡リスク (65歳以上)

月	影響人口 (人/日)								死亡リスク (1/日、 $\times10^{-7}$)				
	1990年				2050年				1990年	2050年			
	現状	+1度	+2度	+3度	+0度	+1度	+2度	+3度	現状	+0度	+1度	+2度	+3度
1	2110	2100	2089	2084	4434	4419	4397	4389	171	396	395	393	392
2	2102	2098	2086	2063	4422	4418	4393	4356	170	395	395	392	389
3	2032	1967	1944	1929	4295	4117	4072	4049	164	384	368	364	362
4	1826	1791	1778	1759	3839	3738	3713	3689	148	343	334	332	330
5	1731	1694	1676	1670	3628	3564	3512	3501	140	324	318	314	313
6	1669	1659	1648	1641	3500	3486	3466	3455	135	313	311	310	309
7	1642	1643	1645	1665	3456	3459	3463	3499	133	309	309	309	313
8	1644	1654	1678	1724	3461	3480	3526	3623	133	309	311	315	324
9	1659	1645	1643	1645	3487	3461	3459	3461	134	312	309	309	309
10	1754	1717	1698	1677	3681	3613	3577	3512	142	329	323	320	314
11	1916	1880	1813	1787	4023	3965	3801	3727	155	359	354	340	333
12	2078	2031	1963	1950	4379	4266	4105	4079	168	391	381	367	364

による死亡の増加となる。具体的には老齢化人口の増加による死者数の増加を反映している。8月についてみると、 $P_{2050}(+3)-P_{1990}(+0)=1979$ 人/日は、老齢化人口増加による増分 $P_{2050}(+0)-P_{1990}(+0)=1817$ と、温暖化による増分 $P_{2050}(+3)-P_{2050}(+0)=162$ の和となる。この場合、2050年に+3℃気温上昇した場合、死亡の増加（過剰死亡）は、1979人/日に増大するが、そのうち、老齢化による増加が1817、温暖化による増加が162 となり、温暖化の影響の割合は9%程度と推定される。1月についてみると同様の計算により、2279、2324、-45 となり、温暖化による影響はマイナス、すなわち温暖化は死者数を減少させることになる。

影響人口の差と、死亡リスクの差を8月について都道府県別に地図化して示したのが、図-4である。影響人口は、老齢化人口の多い大都市圏で高いが、都道府県人口で除した死亡リスクで見ると、地域的な分布に顕著な差は見られない。

4.3 死亡リスクの季節的特徴

死亡リスクについて、2050年で気温上昇が0～3℃上昇した時の、毎月の死亡リスクを示したのが、図-5である。気温の上昇が高い程、7、8月では死亡リスクが上昇すること、その割合は、2～3℃になるほど高くなる。一方、夏季以外では、全般的に死亡リスクは下がる傾向にある。とくに10～12月が気温上昇による死亡率が低下して好影響が現れている。3～5月では、1℃上昇で急激に低下するが、2～3℃ではそれほど低下は見られない。

4.4 地域別に算定した影響人口及び死亡リスクの比較

都道府県を地域に分割してその65歳以上人口、影響人口と死亡リスクを8月について一覧としたのが、表-3である。また、図-6及び7は、昇順に地域毎の値をプロットしたものである。地域分割は、社会保障・人口問題研究所の分類を参考に数県をグループ化して、その影響人口と死亡リスクの値をケース毎に図化したものである。

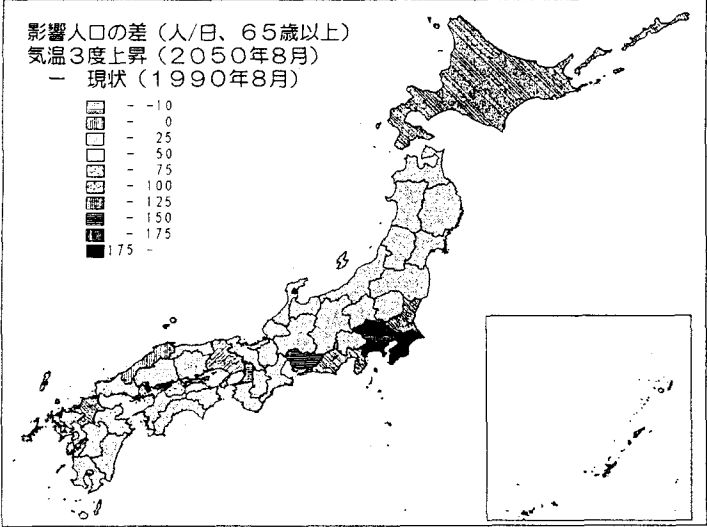


図-4-1 県別の影響人口の差（8月）

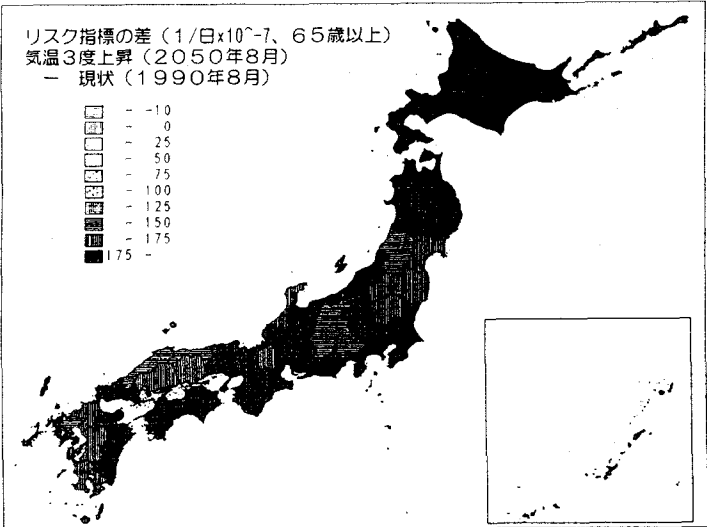


図-4-2 県別の死亡リスクの差（8月）

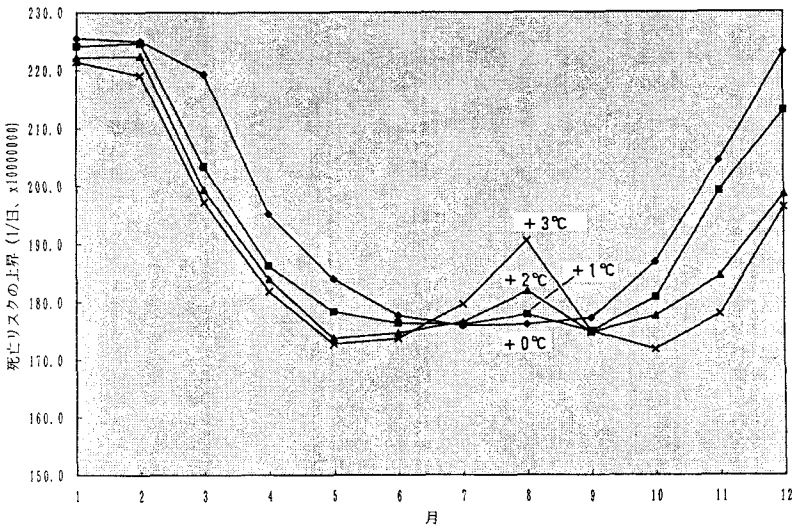


図-5 死亡リスクの季節的な変化（1990年を基準）

死亡リスクでみると、現在92.8～168.6×10⁻⁷ 1/日から2050年に3℃上昇した場合、276.3～373.0×10⁻⁷に増加するが、地域によって違いが見られる。1990年では、南関東(東京、千葉、埼玉、神奈川)、九州の影響人口がそれぞれ1位、2位にあが

表-3 地域別の影響人口と死亡リスク(8月)

# 地域	1990年			2050年				リスクx10-7		
	人口	65歳以上	現状+0度 影響人口	人口推定	65歳以上	2050+0度 影響人口	2050+3度 影響人口	90(+0)	50(+0)	50(+3)
1 北海道	564.4	67.6	76.7	353.7	109.1	121.7	127.0	135.8	343.9	359.0
2 東北	973.8	136.3	153.7	669.0	196.8	221.1	225.6	157.8	330.6	337.3
3 北関東	674.7	83.4	95.8	705.3	190.6	222.6	228.7	142.1	315.6	324.2
4 南関東	3179.7	300.3	319.9	3838.2	1036.5	1122.3	1173.3	100.6	292.4	305.7
5 北陸	558.3	83.0	93.6	396.6	116.9	133.4	143.3	167.6	336.3	361.4
6 東山	301.0	47.4	50.7	261.0	72.8	78.9	79.6	168.6	302.2	304.8
7 東海	1422.1	160.9	176.7	1321.9	374.6	417.1	446.1	124.3	315.5	337.4
8 近畿	367.2	47.1	54.4	403.7	105.8	122.6	130.4	148.1	303.7	322.9
9 西近畿	1674.2	182.0	204.4	1351.4	372.2	420.4	447.1	122.1	311.1	330.9
10 中国	774.5	116.0	125.9	556.5	163.0	176.8	181.4	162.6	317.7	326.0
11 四国	419.5	66.2	74.0	258.3	82.4	92.1	96.3	176.3	356.7	373.0
12 九州	1329.6	190.4	207.1	952.3	275.4	298.5	309.1	155.8	313.4	324.6
13 沖縄	122.2	12.2	11.3	126.3	35.9	33.5	34.9	92.8	265.7	276.3
合計	12238.9	1492.8	1644.2	11194.0	3132.0	3461.0	3622.7	1854.5	4104.9	4283.5

っているが、2050年においては、南関東の影響人口は1位であるが、九州の影響人口は4位に後退している。これは、人口の将来変動に関連している。南関東は、2050年の東京の人口は減少するが、他3県は増加が予測され、地域の総人口が3180万人から3840万人へ増加する。65歳以上の高齢化人口も300万人から1040万人(3倍強)と増加するので、その結果、影響人口は319.9人/日から1173.3人/日に増大する。総人口で除した死亡リスクでみると平均値に近く、高齢化と都市への人口集中が影響人口を高くしている。

一方、九州地方は、地域総人口で1330万人(高齢化人口190万人)が2050年には、950万人(280万人)と減少しているが、高齢化人口は約1.5倍になっている。影響人口は、207.1人/日から309.1人/日となり、当然ながら高齢化人口とほぼ同様に約1.5倍となる。東京に比べて、高齢化人口の伸びは少ない(主として人口減少のため)。リスク指標でみると平均的である。

4.5 男女別死亡リスクの比較

男女別の死亡リスクの季節変動の特徴をみるために1990年と2050年(+0, +3)について図化したのが、図-8である。1990年では女性が男性をわずかに上回っているが、2050年にはパターンはほぼ似ているが、死亡リスクに差が顕著になり、男性が女性よりも値が大きくなる傾向が現れている。死亡リスクは、男女別人口で除した値であるので、人口の年齢構成の変化、すなわち高齢化人口の比率の変化を反映している。

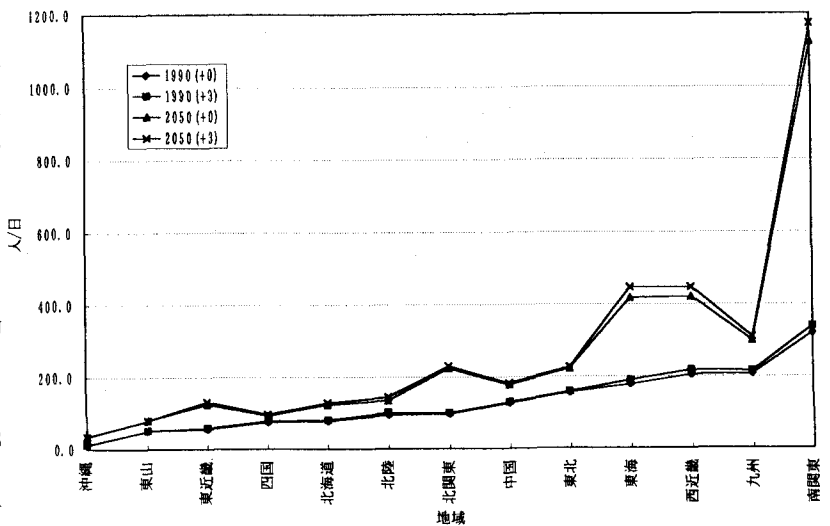


図-6 地域別の影響人口の比較(8月昇順)

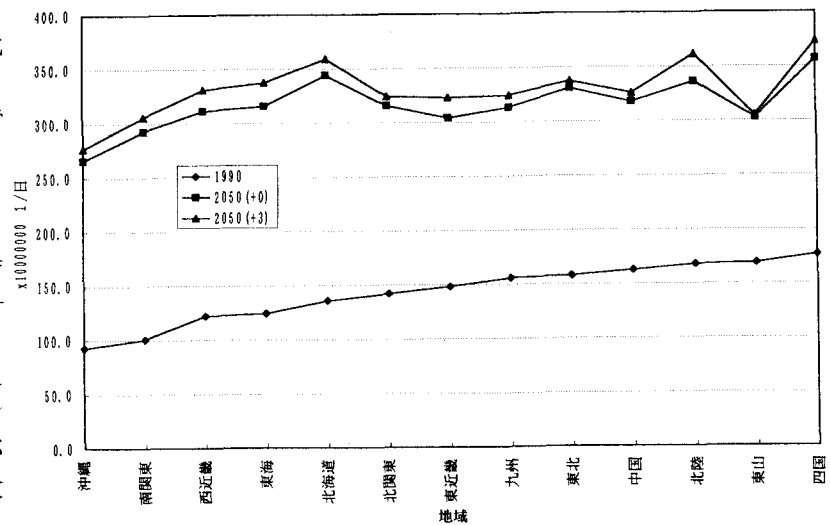


図-7 地域別の死亡リスクの比較(8月, 昇順)

5. おわりに

都道府県別人口の将来予測値、将来の気温上昇を考慮して、とくに健康影響に対して敏感な65才以上の人口を対象とし温暖化の影響を影響人口、死亡リスクの指標を算定し検討した。得られた結果をまとめると以下のようである。

①温暖化の影響やその対応策を考える場合、気温上昇とともに、高齢化など人口構成の変化が重要な要因となっていることがわかった。

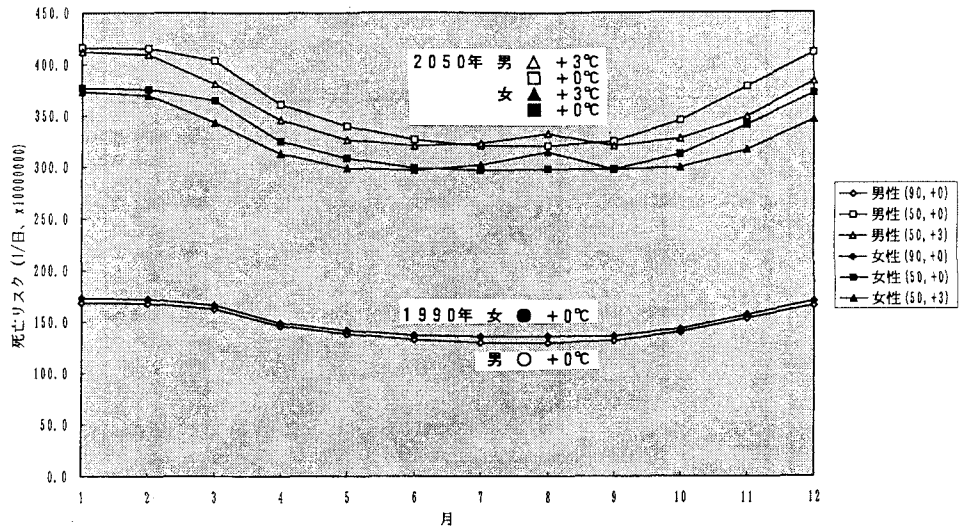
②2050年夏季（7，8月）では温暖化による悪影響がでると予想されるが、65歳以上の人口増加（高齢化）による死亡増加の1割弱程度である。

③また、他の月については、温暖化することにより影響人口、死亡リスクが減少する傾向が見られ、I PCC報告書でも述べられているように冬季など寒い時期においては温暖化の好影響が現れることが予測された。

④地域的には大都市ほど影響人口が増大することから、対策検討時には大都市が問題となる。

⑤男女別の死亡の比較では、ほぼ季節的パターンは似ているがその絶対値について差が現れており、人口の年令構成の変化によると考えられる。

今回の影響評価は、温度と死亡率の関係のみを用いたが、実際には温度上昇の影響は種々の適応によって軽減することが可能であることから（例えば、エアコンの普及）、こうした要因との関係を検討すること、また具体的な対応策や適応策を検討することが今後の課題である。



図－8 男女別死亡リスクの比較

参考文献

- 1) Carter, T. et al., (1994) IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impact and Adaptation. IPCC Special Report, 59pp.
- 2) 原沢ら (1997) 温暖化の健康影響のリスク評価について. 第26回気候影響・利用研究会.
- 3) 本田ら (1995) 九州における日最高気温と死亡との関係, 日本公衛誌, 42(4), 260-268.
- 4) 環境庁 (1996) IPCC 地球温暖化第二次レポート, 128pp.
- 5) Kalkstein, L.S., (1994) Direct impacts in cities, Lancet Special Issue, 36pp.
- 6) 厚生省社会保障・人口問題研究所 (1994a) 都道府県別将来推計人口－平成2年－22年間毎5年.
- 7) 厚生省社会保障・人口問題研究所 (1994b) 日本の将来推計人口-平成3年(1991)-37年(2025年) (2026-2090年参考推計).
- 8) Kunst A.E. et al., (1993) Outdoor Air Temperature and Mortality in the Netherlands: A Time Series Analysis, Am. Jour. Epidemiology, 137(3), 331-341.
- 9) Rogot E., et al., (1976) Association of Coronary and Stroke Mortality with Temperature and Snowfall in Selected Areas of the United States, 1962-1966., Am. Jour. Epidemiology, 103(6), 565-575.
- 10) Rogot, E. et al., (1992) Air-conditioning and Mortality in Hot Weather, Am. Jour. Epidemiology, 136(1), 106-116.
- 11) Smith, J., et al. (1989) The Potential Effects of Global Climate Change on the United States: Report to Congress. Washington, DC., Environmental Protection Agency.