

35. 地球温暖化がわが国の社会基盤施設と産業に及ぼす影響

POTENTIAL IMPACTS OF GLOBAL WARMING ON JAPANESE INFRASTRUCTURES AND INDUSTRIES

三村信男*・筒井純一**・加藤博和***・一ノ瀬俊明****・榊 啓二*****

Nobuo MIMURA, Jyunichi TSUTSUI, Hirokazu KATOH, Toshiaki ICHINOSE, Keiji SAKAKI

ABSTRACT; A comprehensive review was made for the possible impacts of global warming on the infrastructures and industries in Japan. One of the major impacts will occur on the coastal zones; sea-level rise induced by warming will exacerbate beach erosion, and increase the threats of the flooding in the low-lying areas. Changes in typhoons increase the threats considerably. Among the industrial sectors, tourism and manufacturing industries will be affected by the warming. Demand and supply of energy also face problems. However, such impacts have not been analyzed quantitatively yet beside those for the coastal systems. Since today's society are protected by multiple infrastructures, direct effects of global warming are hard to detect. If infrastructures are adversely affected, impacts spread over a wide area of the people's life.

KEYWORDS; Global warming, Impact assessment, Infrastructure, Industries, Coastal zone

1. はじめに

地球温暖化によって、社会基盤施設や社会・経済活動に対しても広範な影響が生じると考えられている。とくに、わが国の人口や産業は平坦な沿岸地域への集中度が高く、海面上昇や台風・高潮の変化が大きな影響をもたらす。また、高度に工業化したわが国では、温暖化の影響は、電力や水の供給を介して、人間居住や交通システム、産業活動など社会・経済システムの広い範囲に及ぶ可能性があるが、これらの影響は未だ把握されていない。本論では、広く研究成果をレビューし、できるだけ定量的・定性的に潜在的な影響を整理すると共に、研究の現状を示した。

1997年12月のCOP3会合を前に、環境庁地球温暖化問題検討委員会(1997)では、研究チームを組織して総合的にわが国への影響の把握を試みた。本論は、この中の「人工系への影響」の報告をまとめたものである。

2. 沿岸域に対する影響

2.1 自然環境に対する影響

日本の海岸線は国土面積の割には非常に長く、総延長が3万4千kmに達する。海岸における気象・海象条件は場所によって大きく異なるため、日本の海岸は極めて多様な地形から構成されている。代表的な自然海岸

*;茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター Center for Water Environment Studies, Ibaraki Univ.,

;電力中央研究所 環境科学部, Central Research Inst. of Electric Power Industry, *;名古屋大学 工学研究科, Graduate School of Eng., Nagoya Univ., ****;国立環境研究所 地球環境研究センター, Center for Global Environmental Research, Nat. Inst. of Env. Studies, *****;物質工学工業技術研究所 化学システム部

としては、砂浜、礫浜、岩石海岸、海崖、泥浜、干潟、サンゴ礁、マングローブ等が挙げられる。

温暖化の影響としてほとんどの海岸で共通に考えられるのは、侵食の助長である。海岸線総延長の24%を占める砂浜海岸は近年著しい侵食傾向にあり、海岸侵食は既に重大な問題になっている。現在の砂浜侵食は、ダムの建設による河川からの土砂供給量の減少や、海岸構造物の建設に伴う沿岸漂砂の変化などが原因である。これに加えて、温暖化が生じると、海面上昇による汀線の後退や異常波浪の発生頻度の増大によって侵食が激化する可能性がある。また、現在とは異なる波浪パターンとなって沿岸漂砂の量ならびに卓越方向が変化したり、地上降水量が変化して土砂供給量の増減が生じることも考えられる。

温暖化に伴い海水面が上昇すると、それに対応した新しい砂浜の平衡地形が形成され、その過程で侵食が起きると予想される。三村ら(1995)は、岸沖方向の縦断地形の変化のみを海面上昇の影響と見なして、砂浜海岸の侵食におよぼす影響を定量的に評価した(図-1)。砂浜の侵食面積比は、海面上昇が比較的小さい範囲で急増しており、30cmの海面上昇に対して現存する砂浜の50%が侵食されるという結果が得られている。日本の砂浜海岸は近年侵食傾向が著しいが、海面上昇はこの侵食傾向を一層助長することが示される。

このほかの自然環境に対しては、河川における土砂の堆積場所の変化と河床の上昇、湿地帯や干潟の水没、南西諸島に存在するマングローブ林への影響等地形と生態系への影響が指摘されている。これらの海岸地形や生態系は、最終氷期以降海水準の変化に適応しながら存続してきており、将来の海面上昇にも陸側に移動するなどの形で応答すると考えられる。問題は、予測されている海面上昇の速度や沿岸の開発の状況がこうした自然地形の適応を許す範囲にあるかどうかであるが、これに答えを与える研究成果は出されていない。

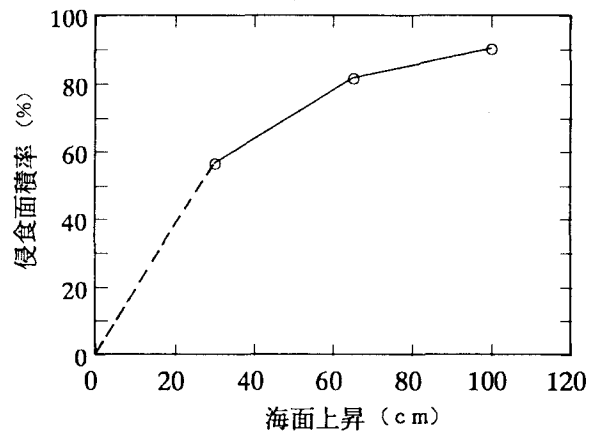


図-1 海面上昇と砂浜の侵食面積率との関係 (三村ら 1995)

2.2 沿岸域の脆弱性

沿岸域の人間社会に対するマクロな影響評価(脆弱性評価)として、海面上昇と高潮によって影響を受ける氾濫域の面積、人口、および資産の増加が算定された。現状でも861km²の国土が満潮位以下であり、そこでは200万人が住み、54兆円の資産が集積されている。これに対して、仮に1mの海面上昇が生じるとすると、面積は2.7倍以上の2,339km²に広がり、人口および資産もそれぞれ410万人および109兆円に拡大する。その上に、高潮が来襲するという場合には、さらに多くの人や資産が氾濫域内に含まれることになる(松井ら, 1992)。

日本では海岸堤防の建設や警報組

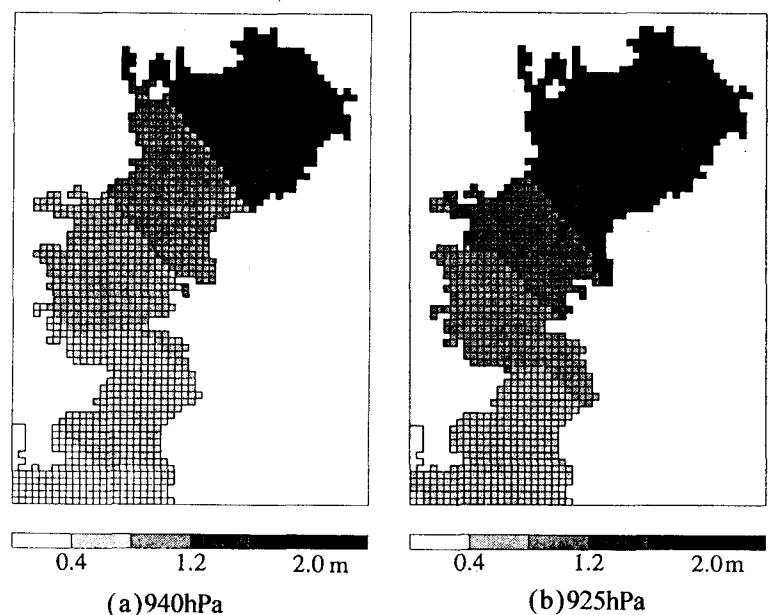


図-2 数値シミュレーションによる東京湾の高潮水位

組織の確立によって高潮災害は減少したが、温暖化に伴う海面上昇ならびに台風が強大化する可能性から、高潮に対する潜在的危険性が将来再び高まることが予想される。高潮偏差は台風の進路に依存するが、一般には風による海水の吹き寄せ効果が卓越する湾奥で最大となる。図-2は、東京湾で中心気圧925hPaおよび940hPaの台風によって起こる高潮の偏差分布である。このモデルでは各地の高潮偏差は中心気圧降下量にほぼ比例することが示され、東京湾沿岸の高潮は15hPaの気圧降下量に対して約1.2倍の偏差増大をもたらすという結果が得られている(筒井・磯部 1992)。高潮は水深が浅いほどその偏差が増大する傾向があるので、海面上昇による水深増大は高潮偏差の減少をもたらす。しかし、高々1m程度の海面上昇に対してはこの効果は比較的小さい。

3. インフラ施設に対する影響と対策費用

日本における社会資本ストックの総額は、公共・民間部門が整備したものを合わせて1988年度末で約500兆円にも上っている。その大部分が都市にあたり、発電所やダムのように都市生活を支えるために利用されている。もしこれらの都市インフラが地球温暖化によって被害を受けた場合には、それ自身の被害のみならず、インフラを利用できなくなることによって生じる波及的被害が大きいと考えられる。しかし、それらへの影響予測は、沿岸域のものを除いてほとんど行われていない。

3.1 沿岸域のインフラ施設

(1) 影響

わが国のほとんどの大都市は沿岸域に位置しており、工業生産、エネルギー施設、物流、漁業、レクリエーション等に沿岸域は幅広く利用されている。また、四方を海に囲まれる日本では海運・漁業が発達しており、沿岸域に位置する港湾および漁港の数はそれぞれ1,100および2,950に上る。さらに最近では、工場、エネルギー施設、空港などのために埋め立てや人工島の造成が行われている。

沿岸域のインフラ施設に対する影響予測の結果、温暖化は、海面上昇や気象・海象条件の変化を通じて、港湾、漁港、人工島、埋立地、高潮・津波防災施設、内水排除・下水道システム、海岸保全施設等あらゆる種類の社会基盤施設の機能や安全性の低下をもたらす可能性がある(例えば、土木学会海岸工学委員会 1994)。とくに、地下水位の上昇によって、地盤の支持力低下や液状化強度の低下が生じる可能性がある点には注意を要する。

検討の一例をとると、海面上昇による防波堤の安定性が現行の設計法に基づいて調査された。海面上昇に対する防波堤の滑動安全率の低下を、消波工がある場合とない場合とで検討した結果を図-3に示す。図から、海面上昇によって滑動に対する安全性が低下し、その度合は水深波高比の違いに依存することがわかる。

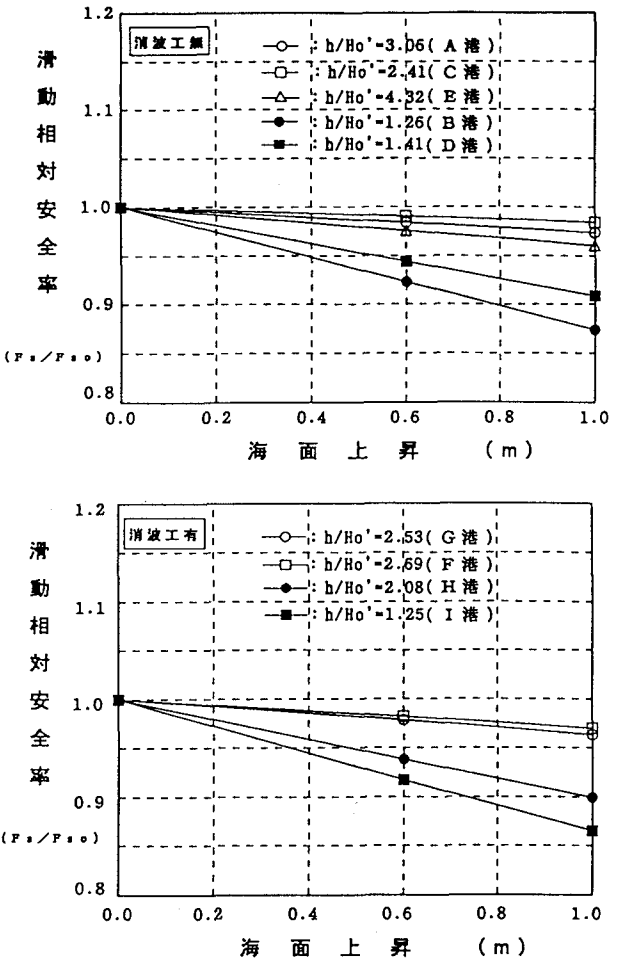


図-3 海面上昇による防波堤の滑動相対安全率の低下 (土木学会海岸工学委員会 1994)

(2) 対策費の推定

1mの海面上昇に対して、沿岸域の諸施設の機能と安全性を現在の水準に保つために必要な対策費用の総額は、全国の港湾施設及び港湾に隣接した海岸（運輸省所管）に対するもので11.5兆円と算定された。この中には、防波堤および護岸の嵩上げ、係船岸壁の嵩上げ、埠頭や上屋等の用地の嵩上げ、水門・排水機場施設の再建設といった費用が含まれている。また、建設省所管の約2700kmの海岸線の護岸を嵩上げた場合の費用は約6兆円と見積もられている。この他にも漁港等があるので、1mの海面上昇に対して、わが国の海岸線の諸施設の機能と防災レベルを維持するために必要となる対策費は優に20兆円を超える額になるであろう。

(3) 被害費用と対策便益の推定

森杉ら(1994)は、海面上昇によって高潮・津波頻度が増大した場合の被害について、世帯の被害費用と対策によって得られる便益の計測を、ミクロ経済学的アプローチを用いて試みている。これによって、0.5mの海面上昇が生じた場合の日本全国の対策なしの被害費用は約3,600億円/年、対策ありの被害費用は約-1,400億円/年となり、便益は約5,000億円/年となった。

さらに、世帯を含めた社会全体での海面上昇の対策便益を求める試みとして、応用一般均衡モデルを導入し、対策便益を土地需要関数のシフトによる消費者余剰の変化分でとらえる手法を開発した。伊勢湾沿岸部の低地域を対象に試算を行った結果、海面が0.65m上昇したときの対策費用が約1,300億円、総便益が約4,800億円、また1m上昇のときの対策費用は約3,200億円、総便益は約8,400億円と算定し、いずれの場合でも便益が費用を上回り海面上昇対策事業が実施に値することを示した。

3.2 交通活動

交通インフラを利用する立場である交通活動も、地球温暖化によって変化することが考えられる。例えば、積雪減少によるスキー場立地の変化や気温上昇による海水浴需要の変化は、これらによる交通需要を変化させると考えられる。また、雪寒地帯の積雪や凍結減少は交通状況の改善をもたらす、交通をより活発にするかもしれない。

4. 産業活動への影響

4.1 産業各部門への影響

(1) 観光・レクリエーション

観光・レクリエーション産業にとって、高温型異常気象の方が、低温型異常気象よりも好影響が大きい(岡村 1990)。温暖化によるスキー場への影響については、温暖化が局所的気候に及ぼす影響を予測することが難しいため、定量的な報告はほとんど行われていない。安成ら(1991)は、十日町の気候を解析することによって日本海側の降雪と温暖化の関係を調べているが、温暖化が直接影響を与えるのではなく、北半球規模の気圧配置が日本上空の降雪を左右していることを指摘している。1993年の冬は7年連続の暖冬であったが、スキー用品の売り上げは不況の影響もあり、東京で20%の落ち込みになった(平沼 1994a)。

海面上昇が沿岸レクリエーションに与える影響対象として、レクリエーション施設、セーリング、海水浴、潮干狩り、魚釣り、海中観光が挙げられている(土木学会海岸工学委員会 1994)。平沼(1994)は異常気象の海水浴客数への影響を報告している。1993年の冷夏では、海水浴客は例年の1/2～1/3に落ち込んだ。また1994年の猛暑(7,8月の平均気温は平年より2～3℃高かった)では、水の事故が増大した。

(2) 建設業

酒井(1988)は、マクロな視点から見た異常天候の建設業への影響を整理している。1981～1985年の5ヶ年における災害復旧事業の工種別内訳は、河川62.7%、道路28.0%、砂防3.0%、海岸3.3%であった。全国レベルで見ると、台風を含む豪雨の河川や道路への被害が大きい。建設白書によると、平成5年には建設省所管公共土木施設に係わる被害総額は8,746億円になっている。今後、海面上昇の対策が必要になれば建設業に大き

な作業量をもたらすことになる。

(3) 製造業

気候変動は、生産活動よりもむしろ消費者の購買意欲に大きく影響する。岡村(1990)は、気候変動と地域産業に関するアンケートを行い、製造加工品は、低温型気象で悪影響があり、高温型気象では、概ね好影響が現れることを示している。酒井(1988)によると、家電商品の出荷額の1/4は季節商品であり、エアコンの需要は、真夏日一日の増加により4万台増える(1984年ベース)。平沼(1994a,b)がまとめたところによると、1993年の冷夏長雨によってはGDPは0.18%下がり、またエアコンの売り上げは対前年同期比で7月で18%、8月で93%下がった。さらに飲料の売り上げ減少とともにアルミ産業も不振となり、その他の夏物も不振であった。1994年猛暑では、7200億円の消費需要があり、主に飲料、アルミ産業、エアコン等の冷房機器、夏物衣料が大幅に売り上げを伸ばした。中川(1988)は、1984年の寒冷・大雪の影響をまとめているが、その年、全世帯の1月の消費支出は前年同期よりも名目で1.3%、実質で3%減少した。

4.2 エネルギー部門への影響

(1) エネルギー供給

1994年の夏は記録的な猛暑と水不足であった。電気事業連合会(1994)によると、水力発電で7,8月の平均出力率は56.9%であり、発電電力量は87.4億kWhで、前年比48.7%であった。また、電力会社間の供給力の応援融通は141万kWと過去最大を記録した。温暖化によって夏の乾燥化が進むならば、水の需要の増大の一方で水力発電の出力の低下が生じ、需給関係が厳しくなる。Nishinomiyaら(1994)、天野(1990)は、気候変動、水資源、海面上昇が、発電運用、電力施設、送電施設に及ぼす影響を以下のように整理している。

- a)降水が集中豪雨型となり、水力発電量が低下し、流砂・堆砂量が増加する。
- b)台風が頻発すると、ダム、屋外施設の安定性が低下する。
- c)冷却用水の水温上昇により発電効率の低下が生じる。
- d)海面水位上昇の対策として防波堤などの改修が必要になる。
- e)水位上昇によって既存冷却水システムの加圧が必要になる。
- f)雷の多発、水分の多い雪、台風の大規模化によって、送配電施設に悪影響が生じる。
- g)異常高温によって、送配電機器の機能低下の恐れがある。

ただし、これらの定量的評価はまだ行われていない。

また、発電事業では、ピーク需要に応じて施設を増やさなければならない。電力需要は気温に依存する事が知られており、将来の供給予測をたてるためには、気候変動の影響を加味する必要がある。

(2) エネルギー需要

日本では、暖房エネルギーが冷房用エネルギーよりずっと大きい(暖房約30%、冷房2%)ので、温室効果はエネルギー節約に有利に働く。Nishinomiyaら(1993,1994)は都市ガスと灯油の需要の変化について述べているが、都市ガスの79%以上が民生用であり、その60~70%が給湯に使われ、20%以上が厨房用である。都市ガス消費量と気温は逆比例の関係になっている。また、18℃以上では暖房用灯油消費はなくなり、18℃以下では灯油の消費量は年平均気温の低下によって直線的に増大する。1℃の気温上昇は、一年で一世帯当たり90リットルの灯油節約になる。全国では、380万トンの削減になる。

5. おわりに

地球温暖化の影響の広がりや極めて広い。これまで海面上昇や沿岸域を除いて、我々の社会あるいは国民生活に対して直接どのような影響があるのかに関する研究は少なかった。現代の国民生活は縦横に張り巡らされたインフラシステムによって何重にも防護・支持されており、直接的な影響が見えにくくなっているためであろうが、潜在的な影響の有無について今後更に注意深く検討されなければならない。

最後に影響評価研究に関する問題を1つだけあげれば、数10年から100年の将来には、人口の増減や高齢化、産業構造の変化など社会全般の大きな変化が予想され、それらの見通しも不確かである。このことは、温暖化、気候変動等の外力だけでなく暴露系である社会構造自体も変化することを意味する。長期的な将来予測を行う上で、外力と暴露系両方の変化と相互作用をどう取り扱うかという問題が大きな課題として残されている。

本研究を進めるにあたり、影響評価ワーキンググループの西岡秀三座長、原沢英夫幹事、さらに環境庁地球温暖化問題検討委員会の方々には大きな支援、助言を頂いた。感謝の意を表したい。

参考文献

- 天野博正(1990): 地球温暖化への電気事業の対応. 土木学会誌4月号別冊増刊, 93-96.
- 岡村敏夫(1990): 異常気象が産業に及ぼす影響. 気象, 34(4), 10844-10847.
- 環境庁地球温暖化問題検討委員会(1997): 地球温暖化の日本への影響1996 (印刷中) .
- 酒井俊二(1988): 気候変動の第二次産業及び第三次産業への影響. 気象研究ノート, No.162, 355-365.
- 筒井純一・磯部雅彦 (1992): 地球温暖化後の東京湾における高潮の予測, 日本沿岸域会議論文集, 4, 9-19.
- 電気事業連合会(1994): 夏の電力ピークと冷房需要の凄まじさ. JETI, 42(13), 33-36.
- 土木学会海岸工学委員会 (1994): 地球温暖化の沿岸影響—海面上昇・気候変動の実態・影響・対応戦略—, 土木学会, 221p.
- 中川慎治(1988): 気象庁における気候影響・利用調査. 気象研究ノート, No.162, 251-271.
- 平沼洋司(1994a): 異常気象と社会・経済. 日本エネルギー学会誌, 73(4), 260-266.
- 平沼洋司(1994b): 1994年の夏の猛暑が社会や経済に与えた影響. 気象, 38(11), 13478-13481.
- 松井貞二郎・立石英機・磯部雅彦・渡辺晃・三村信男・柴崎亮介 (1992): 海面上昇に伴う日本の沿岸域の浸水影響予測, 海岸工学論文集, 39, 1031-1035.
- 三村信男・幾世橋慎・川口英一 (1995): 海面上昇に対する海岸地形の応答—砂浜, 河口地形を中心に—, 第3回地球環境シンポジウム講演集, 土木学会地球環境委員会, 97-102.
- 森杉壽芳・大野栄治・星健一・高木朗義・高橋靖英 (1994): 海面上昇が及ぼす高潮頻度の増大による世帯被害費用の定義と計測, 第2回地球環境シンポジウム講演集, 土木学会, 162-167.
- 安成哲三・森永由紀(1991): 来る半世紀の地球の気候と日本の農林水産業・人間環境の推定に関する研究 (Ⅱ) 地球温暖化により十日町の雪はへる?. 気候学・気象学研究報告, No.16, 5-11.
- Nishinomiya, S. and Y. Nishimura(1994): Cost and benefit studies. The impacts of climate change on electric utilities in Japan. US DOE Rep, 427-442.