

39. 海面上昇の適応策に対する意識とその方策について

PUBLIC AWARENESS TO ADAPTATION OF SEA-LEVEL RISE AND ITS TECHNOLOGIES

小島 治幸*

Haruyuki KOJIMA*

ABSTRACT: Adaptation is one of the most important research activities of responses to global warming and climate change. A number of adaptation options have been proposed for response strategies against sea-level rise and climate change in coastal areas. The present paper discusses possibility of several technological options presently used to combat beach erosion and flooding as a potential candidate for the adaptation technologies. The paper also presents results of a questionnaire survey using the Analytical Hierarchy Process to study people's awareness to the proposed adaptation options and the order of their priorities.

KEYWORDS: sea-level rise, adaptation, response strategies, Analytical Hierarchy Process (AHP)

1 はじめに

地球温暖化は、様々な環境問題が集約した現象であり、将来にわたって人類への影響が特に大きい問題の一つである。そのなかでも海面上昇と台風・降雨などの気候変動は、極めて広い範囲に影響が及ぶと指摘されている。海面上昇や気候変動の影響を最も受けやすい沿岸域は、多くの経済活動の中心として利用されており、人口も集中している。また、自然の生態系が多く存在し、自然環境の面からも重要な場所である。特に、日本の沿岸域は、人口や経済活動が東京湾や伊勢湾、大阪湾などに面する臨海都市に集中している。すなわち、臨海に位置する市町村の面積は全体の32%にすぎないが、人口は46%、工業出荷額は47%、商業販売額にいたっては77%を臨海市町村が占めている。このため、松井ら(1992)によると、現在でも平均満潮位以下の土地に200万人が居住し、54兆円の資産がある。これに対して1mの海面上昇が生じると、人口、資産ともそれぞれ410万人、109兆円に拡大する。また、日本全国の港湾施設と海岸構造物における1mの海面上昇による対策費用の総額は11.5兆円と算定され、そのうち7.8兆円が港湾施設の嵩上げに、3.6兆円が海岸構造物の対策に必要である(Kitajimaら, 1993)。さらに、砂浜海岸においては、三村ら(1994)が、1mの海面上昇により全国の砂浜面積の約90%が侵食され消失すると推算している。これら海面上昇や気候変動の影響に対して緩和策と適応策からなる対応戦略が重要であると認識されている。このうちの適応策は、海面上昇に対する自然環境システムや社会経済システムが持っている感受性や脆弱性を低減したり、逆に抵抗力(resistance)や回復力(resilience)を高めたりする政策を意味する。近年、各国で実施された「脆弱性評価」を受けて、適応策に関する検討が始まったばかりの状況にあり、今後、各々の地域がとるべき適応策を検討することは、地球環境問題に対応するための重要な研究課題のひとつである。

本研究は、まず沿岸域における計画的適応策の各種方策を紹介するとともに、それらの可能性を検討する。次に、AHP(階層化意志決定)手法により、この問題に対する意識度の定量分析を行い、若い世代が抱く適応策に関する優先度を明らかにすることを目的とする。

*九州共立大学工学部土木工学科 Department of Civil Engineering, Kyushu Kyoritsu University

2 海面上昇に対する適応策

気候変動に関する政府間パネル(IPPC)は、1990 年と 1996 年に海面上昇への適応策として「計画的撤退(Planned retreat)」、「順応(Accommodation)」、「防御(Protection)」の3つの対応策を提示している(UNEP,1996)。これらの具体的な選択肢を、適応策の形式とタイミングに関する分類分けとともに表-1に示す。計画的撤退は、海面上昇に対して極度に脆弱な地域にある構造物や土地の放棄を基本とした方策である。順応は、脆弱な地域の継続的な利用を前提として影響回避のための予見のおよび応答的な方策である。これには、洪水時の緊急避難シェルターの建設、建造物のかさ上げ、農業からの養殖漁業への転換もしくは、洪水や塩害に耐性を持つ作物の栽培などが含まれている。防御は、脆弱な地域や社会・経済の集中した地域および自然環境を防御する各種方策で、ハード工法とソフト工法の2つの分類が可能である。これらのなかで現在、沿岸域において海岸侵食や洪水災害の対策として用いられている方策をいくつか紹介する。

(1) 災害保険制度

国家が行っている災害保険制度としては、米国の「国家洪水保険制度(National Flood Insurance Program)」がある。これは、1968年に発効された国家洪水保険法に基づく制度で、連邦危機管理局(Federal Emergency Management Agency)が管轄している。この制度は、高潮などの洪水災害に対する連邦政府の保険制度で、災害にあった個人の財産に対し税金より保険金の支払を可能とした財政的な保護と災害軽減プログラムよりなっている(Institute for Water Resources, 1996)。災害軽減プログラムは、洪水災害を受けやすい地域における特別なゾーニングや建設・建築基準を設けて災害の防止や軽減を図っている。また、保険金額を高額にすることにより災害多発地域の開発を規制したり、保険金の一部を支払うことにより危険区域にある建物の撤退を促進させたりしている(National Research Council, 1990)。従って、この制度によって順応策の他の方策や計画的撤退策まで取り込むことが可能である。

(2) 面的防御方式

海岸侵食や波浪・高潮災害に対する海岸保全の従来工法は、堤防や護岸などによる線的な防御であった。この方式では、前面の砂浜の侵食を助長したり、堤体の天端高を高くする必要があるため、人と海岸との乖離が起こったり、海岸の利用が制限されたりした。このような反省から、人工リーフや養浜工などの複数の施設によって外力を分散させて受け止める「面的防御方式」が採用されてきている(Ports and Harbors Bureau, 1998)。この方式は、防御策のハード工法にあたるが、防御だけでなく、砂浜の保全や復元の機能があり、海岸利用や海岸環境の面からも効果的な工法となることが期待されている。

(3) 養浜工法

海岸侵食の対策工法として、養浜工が有効であることが世界的に認められている(National Research Council, 1995)。米国を初

表-1 海面上昇に対する適応策(IPCC)

適 応 策	適応策の形式		適応策の時期	
	自動的	戦略的	対応的	予見的
計画的撤退 ● 特定地域の開発禁止 ● 開発の条件付き廃止 ● 補助金の停止 ● 推定される移動	✓	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓
順応 ● 最悪の影響を回避するための先行的計画 ● 土地利用の変更 ● 建築様式や建設基準の変更 ● 脅威に曝されている生態系の保護 ● 災害多発地域の厳しい規制 ● 災害保険制度	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓
防護 1) ハード工法 ● 堤防、防潮堤 ● 防波堤、護岸 ● 突堤 ● 離岸堤 ● 水門 ● 河口堰 2) ソフト工法 ● 養浜工、漂砂補充 ● 砂丘再生 ● 干潟造成 ● 植林など	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓

めとしてオランダ、ドイツ、スペイン、オーストラリアなどでは、侵食対策とレクリエーションのための海浜整備をかねた大規模な養浜工が積極的に行われている。特に、米国では 1960 年代以降、連邦政府による海岸保全事業費の約 9 割が養浜事業となっている(Institute for Water Resources, 1996)。オランダでも 1990 年に dynamic preservation と呼ばれる海岸防御政策に基づき、海岸線を少なくとも 1990 年の位置に維持する工法として養浜工が採用されている(Ministry of Transport and Public Works, 1990)。養浜工の利点は、i) 特定の地域における近自然海岸を維持保全することができる、ii) 近隣の海岸に対しての影響を和らげる、iii) 陸上の財産に対するある程度の保護を提供する、iv) 費用を長期間に振り分けることができる、v) 最小の努力により自然の海岸状況を反転する可能性がある、等があげられる(小島ら, 1995)。わが国では、平成 12 年 4 月に改正された海岸法によって、「海岸を防御する機能を維持するためにもうけた」という限定はあるが、砂浜が海岸保全施設の一例と認識されたことから(岸田, 2000)、海岸侵食や高潮対策として養浜工が採用される可能性が高まっている。

実際の適応は、気候変動の進行に応じてこれらの方策が繰り返し行われるとともに、それらの適応策を組み合わせる実施されることになる(Klein, Nicholls and Mimura, 1999)。このとき、情報の浸透や社会的意識の向上、都市計画や環境管理計画などの他の政策との調整が重要となる。計画的な適応策を考える上で今後解決して行かなくてはならない課題を以下に列挙する。

- ・ 自然的適応をふまえた各システムの脆弱性と抵抗力の評価
- ・ 影響の限界点の把握と適応策の適用時期
- ・ 特定地域における適応策間の優先度
- ・ 情報の開示と社会的意識の向上のための方策
- ・ 適応主体の明示と主体間同士の調節と連携のためのシステムの確立
- ・ 適応策の評価基準とフィードバックシステムの確立

3 AHP 手法による適応策における優先度の意識調査

気象変動の将来予想に不確実性が高いことや適応策が極めて広範囲に及ぶことなどにより、上述した課題を克服することは多くの困難を伴うことが予想されるが、現時点で可能である社会意識の向上や適応策間の優先度の解明などに関する調査研究を進めていくことが重要と考える。ここでは、AHP (階層化意志決定) 手法を用いて IPCC が提示している適応策の優先度について意識調査を行った。

3.1 AHP 手法の概要

AHP 手法は、もともとアメリカ合衆国で軍事外交戦略の問題を、人の持っている主観や勘といったものをモデルに反映させながら、多様な要素をバランス良く取り込み簡単に解決したいということで生まれた手法で、人間の意識や価値観などの主観的な要因を数値化する手法である (Saaty, T.L., 1980, 刀根, 1986)。意志決定にはまず「問題」があり、そして最終的な選択の対象となるいくつかの「代替案」がある。代替案の中から 1 つに絞り込むために両者間に「評価基準」が存在する。この評価基準は複数個あるのが普通であり、しかも互いに利害が相反する面をもっている。これより、AHP 手法の手順としては、①「問題」、‘評価基準 (副評価基準)’、‘代替案’を設定する；②階層図をつくる；③一対比較を行う；④総合評価値を決定する、という流れで行う。

3.2 海面上昇の適応策に対する AHP 手法の適用

(A) 問題、評価基準 (副評価基準)、代替案の設定と階層図の作成

海面上昇の適応策が問題となり、評価基準は適応主体として考え、生活環境、経済活動、自然環境の 3 つを設定した。副評価基準には、人間生活、生活基盤施設、港湾システム、産業施設、史跡・生態、自然資源の 6 項目とした。代替案には、表 1 に示されている 3 つの適応策から主要な 2 つずつを選び、計画的撤退 (開発禁止、移住・施設の放棄)、順応 (土地利用・建設基準の変更、保険等の創設・充実)、防護 (防護施

設の建設，砂浜・砂丘の再生)を選定した。階層図は，図－1に示すとおりで，上から順に，問題，評価基準，副評価基準，代替案で構成される。

(B) 一対比較の概要

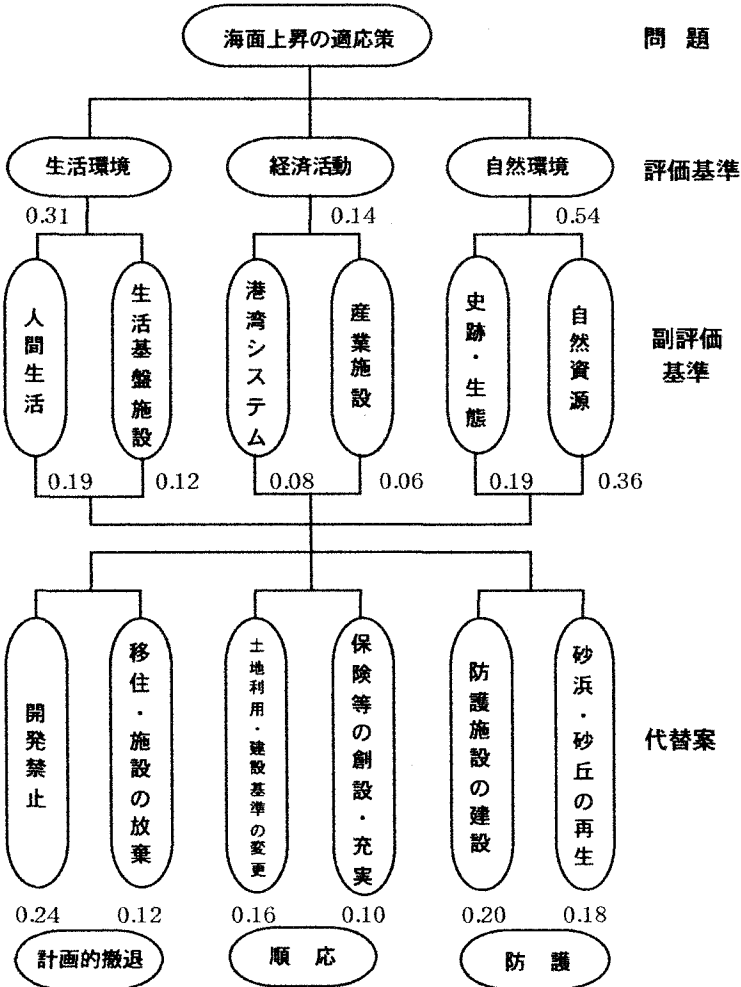
一対比較とは，各項目の要素について上位項目要素に関する一対（2 つ）のものをどちらがどれだけ重要かを比較・検討していくことである。一対比較を行うことにより，一対比較行列の最大固有値と固有ベクトルを算定し，重要度（選好度）求めることになる。このとき，矛盾した回答をできるだけ減らすことによって正確な答えを出すために，一対比較から整合チェック（整合度 $0 < C.I. < 0.1 \sim 0.15$ ，整合比 $0 < C.R. < 0.1 \sim 0.15$ ）を行った。

今回，一対比較を行うにあたりアンケート調査を実施した。アンケート調査は，階層ごとに2つの項目を比較してどちらがどれだけ重要かを選択してもらう形で独自にアンケート用紙を作成し，その一例を図－2に示す。九州共立大学土木工学科の教員と学生合計 50 名に依頼し，そのうち回収できた 38 部で検討を行った。このうち 7 部が教員による回答であった。

3.3 AHP 手法の結果

アンケート調査結果の一例を図－3に示す。これは，横軸に重要度の程度，縦軸に度数を取り，一対比較における評価基準の各項目に対する重要度の分布を表わしている。それぞれの結果はそれなりに山の形をとり，ある分布傾向が見られる。この図が示すように経済より生活，生活より自然，経済より自然の方が重要視されていることが明らかである。重要度を図中の横

軸のように数値化し，各図中に示されている幾何平均値を求め，これらの値とその逆数の一対比較行列を設定し，固有値解析により評価項目の重みを算定した。この結果を表－2に示す。自然環境の重要度が 0.55 と他の評価項目に比べ大きな値となっている。なお，整合度は $C.I.=0.008$ で満足 of いく結果である。同様に，副評価基準に関しても評価基準の項目ごとにおける一対比較行列と重要度の重みを算出し，表－3に示す。



図－1 海面上昇の適応策に関する階層図

評価基準の一対比較

海面上昇の影響を考える場合、

生活環境：快適でゆとりある生活に対する影響度

経済活動：農漁業・工業サービス等各産業における影響度

自然環境：自然生態系の保護や天然資源の恵みに対する影響度

の3つが評価基準としてあげられます。

この3項目についてそれぞれ2つづつを比較して、どちらがどれだけ重要と思うか、あてはまる場所に○をつけてください。

	絶対に重要	若干	同じ位	若干	絶対に重要	
生活環境						経済活動
生活環境						自然環境
経済活動						自然環境

図－2 一対比較におけるアンケート用紙の一例

これらの結果より、評価基準における副評価基準の割合を図-4に示した。自然環境の占める割合が55%となり、生活環境31%と経済活動14%を併せたものより大きな割合となった。また、それぞれの評価基準の中では、自然資源、人間生活、港湾システムがより重要視されている。

各副評価基準に対する適応策の代替案に関する一対比較より重要度の重みを求め、表-4に「人間生活」に対する結果を示している。表-5は、すべての副評価基準に対する代替案の重要度をまとめたものである。人間生活や港湾システムなどの生活環境や経済活動においては、「堤防や防波堤等の建設・増強」の重要度が最も高く、次が「影響されやすい地域の開発禁止」と「砂浜・砂丘の再生」がほぼ同程度である。産業施設では「影響されやすい地域の開発禁止」と「土地利用・建設基準の変更」がほぼ同程度である。自然環境の史跡・生態と自然資源については、「影響されやすい地域の開発禁止」がそれぞれ全体の25%から31%を占めている。これから、自然環境に対して、手を加えず現状維持を望む傾向がうかがえる。また、史跡・生態においては、他の副評価基準では優先度が最も低い「移住・施設の放棄」が19%と2番目に高い優先度となった。また、代替案「影響されやすい地域の開発禁止」は、どの副評価基準においても、優先度が上位であった。

総合評価値は、各評価項目および各幅評価基準ごとに比較された代替案のウェイトに評価基準と副評価基準のウェイトを乗じたものの総和で表される。この総合評価値は、人間の主観的評価値を表すことになる。この結果を、図-1の階層図中の数字で表した。「影響されやすい地域の開発禁止」が、最も優先度が高く、次が「防護施設の建設」、「砂浜・砂丘の再生」が続いている。「保険等の創設・充実」が最も低い優先順位になっているが、保険制度が海面上昇の対策としてどのような役割を担っているか理解できないという意見が、特に学生から多く出され、保険制度の役割についての認知の低さが浮き彫りとなった。

4 あとがき

海面上昇に対する計画的適応策の事例の紹介と可能性の検討を行い、適応策に関するいくつかの課題が明らかとなった。このうち、社会的な意識の向上と適応策間の優先度に関して AHP 手法を用いた意識調査を行った。その結果、評価基準において自然環境に対して重要であると意識する割合が55%となり、生活環境31%と経済活動14%を併せたものより大きな割合となった。適応策間の優先度においては、「影響されやすい地域の開発禁止」が最も優先度が高く、次が「防護施設の建設」、「砂浜・砂丘の再生」の順となっ

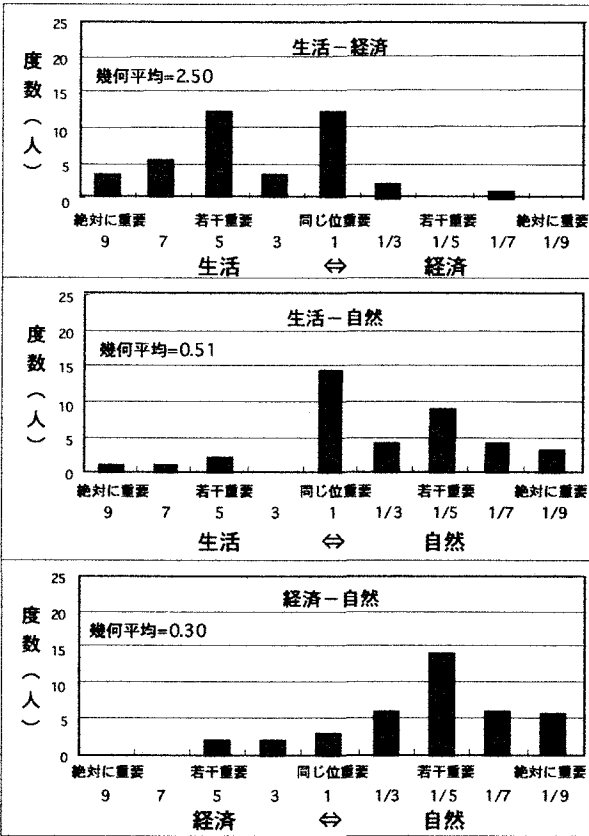


図-3 評価基準項目における一対比較の結果

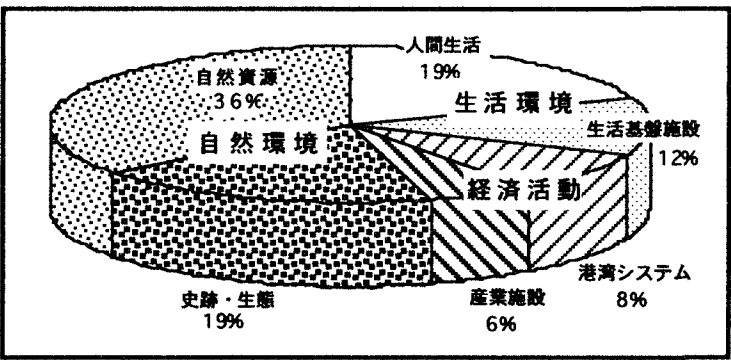
表-2 評価項目の一対比較行列と重要度

	生活	経済	自然	固有价值
生活	1.00	2.50	0.51	0.31
経済	0.40	1.00	0.30	0.14
自然	1.96	3.33	1.00	0.55

表-3 副評価基準の一対比較行列と重要度

副評価基準	人間生活	生活基盤施設	重要度
人間生活	1.00	1.63	0.62
生活基盤施設	0.61	1.00	0.38
港湾システム		産業施設	
港湾システム	1.00	1.51	0.60
産業施設	0.66	1.00	0.40
史跡・生態		自然資源	
史跡・生態	1.00	0.54	0.35
自然資源	1.85	1.00	0.65

た。今後の沿岸域開発において開発事業の禁止や何らかの規制を設け、いわゆる「後悔のない政策」を具現化していく必要がある。そのための一つの方策として、影響されやすい地域の開発禁止や建設基準の変更、移住・施設の放棄など多くの方策を取り込むことが可能である災害保険制度が有望である。今後は、保険制度の役割についての認知を向上させる必要がある。



図－４ 評価基準と副評価基準の重要度の割合

参考文献

Institute for Water Resources, 1996: Analysis of the U.S. Army Corps of Engineers Shore Protection Program, IWR Rep. 96-PS-1.

Kitajima, S., T. Ito, N. Mimura, Y. Tsutsui and K. Izumi, 1993: Impacts of Sea Level Rise and Cost Estimate of Countermeasures in Japan; in Mclean, R. and N. Mimura (eds.), Vulnerability Assessment to Sea-Level Rise and Coastal Zone Management, Proceedings of the IPCC Eastern Hemisphere Workshop, 115-123.

Klein, R.J.T., R. J. Nicholls and N. Mimura, 1999: Coastal Adaptation to Climate Change: Can the IPCC

表－４ 人間生活における代替案の一対比較行列と重要度

	禁止	放棄	変更	創設	建設	再生	重要度
禁止	1.00	2.42	1.06	1.61	0.84	1.20	0.20
放棄	0.41	1.00	0.61	0.84	0.40	0.56	0.10
変更	0.94	1.64	1.00	1.31	0.78	0.81	0.17
創設	0.62	1.19	0.76	1.00	0.54	0.61	0.12
建設	1.19	2.50	1.28	1.85	1.00	0.93	0.22
再生	0.83	1.79	1.23	1.64	1.08	1.00	0.19

表－５ 副評価基準に対する代替案の重要度

代替案	人間生活	生活基盤施設	港湾システム	産業施設	史跡・生態	自然資源
開発禁止	0.20	0.20	0.18	0.19	0.25	0.31
移住・放棄	0.10	0.09	0.10	0.11	0.19	0.10
基準変更	0.17	0.17	0.16	0.19	0.14	0.16
保険創設	0.12	0.10	0.10	0.14	0.10	0.08
施設建設	0.22	0.21	0.27	0.21	0.17	0.18
砂浜再生	0.19	0.21	0.19	0.16	0.15	0.18

Technical Guidelines be Applied?, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 4, 239-252.

Ministry of Transport and Public Works, 1990: A New Coastal Defense Policy for the Netherlands, The Hague, The Netherlands.

National Research Council, 1990: Managing Coastal Erosion, National Academy Press, 182pp.

National Research Council, 1995: Beach Nourishment and Protection, National Academy Press, 334pp.

Ports and Harbors Bureau, Ministry of Transport, 1998: Coastal Protection in Japan, 24pp.

Saaty, T.L. 1980: The Analytical Hierarchy Process, McGraw Hill.

UNEP, 1996: Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies, pp.5-3

岸田弘之, 2000 : 新しい海岸制度のスタート, 応用生態工学 3(1), 65-75.

小島治幸, T.J. Campbell, K. Beachler, R. Spadoni, R.G. Dean, 1995 : フロリダ州の養浜事業に関する研究, 海岸工学論文集, 第 42 巻, 1171-1175.

刀根薫, 1986 : ゲーム感覚意志決定法, 日科技連, pp.218.

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, 第39巻, 1031-1035.

三村信男, 井上馨子, 幾世橋慎, 泉宮尊司, 信岡尚道 (1994) : 砂浜に対する海面上昇の影響評価 (2) 予想モデルの妥当性の検証と全国規模の評価, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp.1161-1165.