

35. インドネシアにおける海面上昇の都市への影響評価

—現地調査によるミクロ分析と衛星画像によるマクロ分析—

IMPACT EVALUATION OF SEA LEVEL RISE ONTO INDONESIAN COASTAL CITIES

-Micro approach through field survey and Macro approach through satellite image-

小林 英之*

Hideyuki KOBAYASHI*

ABSTRACT : This Research tried to quantitatively evaluate the impact of sea level rise onto 7 Indonesian various coastal cities, through unit loss of materials and human time, identified from measurement and interview to 84 sample houses, and total area of each land use type and contour zone identified through satellite image. Finally, total impact to each city was measured for several assumed cases. For this purpose, not only the “price” or “cost” as the final summary, but also “amount of resources lost” per hectare will be suggested for international comparison and summing up, as for human settlements as a semi-ecological process.

KEYWORDS; sea level rise, Indonesian coastal cities, field survey, satellite image, GIS

1. はじめに

地球温暖化により、2100年までに海面が、大きい場合で90cm程度上昇すると予想されている¹⁾。このために排出削減に向けた緩和が検討され、高度な排出権取引の枠組みなどが検討されている。

一方、海面上昇を通じて、地形、自然生態系、人間居住・社会システムへの影響が指摘されている。とりわけ、人口が密集するアジア太平洋の脆弱な地域では、適応策が重要になると予想される。

しかしながら、これまで、沿岸部に人口が密集する発展途上国への都市への影響の実像に関しては、殆ど解明されていない。国際セミナー等においても、海岸侵食、珊瑚礁やマングローブ林への影響が報告されるが、人間居住を対象としたものは、まだ非常に少ない。僅かに地域経済への影響評価の中で住宅地も扱われている。タイ国沿岸域を対象とした経済評価においては、工業地・商業地の生産性への影響が重視され、住宅地は失われる土地の地価と影響人口のみが評価されている²⁾。

影響の内容と大きさに関して具体的に評価した結果が今後必要となり、また排出量削減等の緩和策との比較検討においても、適応コストも含めて、影響を定量的に評価する必要があるであろう。

本稿では、海岸線の総延長が8万キロといわれるインドネシアを対象として、環境省地球環境総合推進費による「海面上昇の総合的影響評価と適応策に関する研究³⁾」の一環として実施した、都市に関する成果を報告する。地形は自然生態系などに関する成果と合わせ、国土地理院においてはGISベースの地球地図の一環として脆弱性地図を作成しつつある。インドネシアを対象とした理由は二つある。即ち(1)多様なタイプの都市を含み、利用可能な既存データが少ないことから、ここで試された方法は、他の東南アジア諸都市への応用可能性が高いこと、(2)これまで研究成果が少なかった広大な島嶼地域に関する調査結果を得ることで地球地図の空白枠が埋まること、である。今後は、援助を視野に入れた適応策を考えることも必要となる。

*国土交通省 国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター 住宅情報システム研究官
Research Coordinator for Housing Information System, Research Center for Advanced Information Technology,
National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

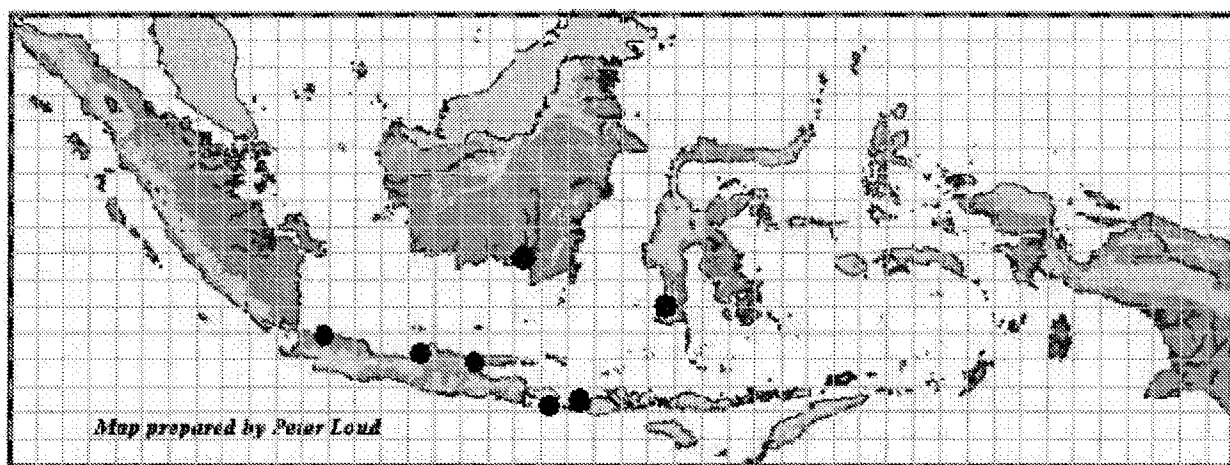


図1：調査対象都市（2001年度、家屋実測調査）

2. 問題発見型調査

まず、6都市を対象として、海面上昇により将来どのような問題が予想されるのかを知る手がかりとなる現地調査を実施した。

2.1 都市による市街地類型の多様性



写真1：パレンバン 川沿いの水上高床式家屋

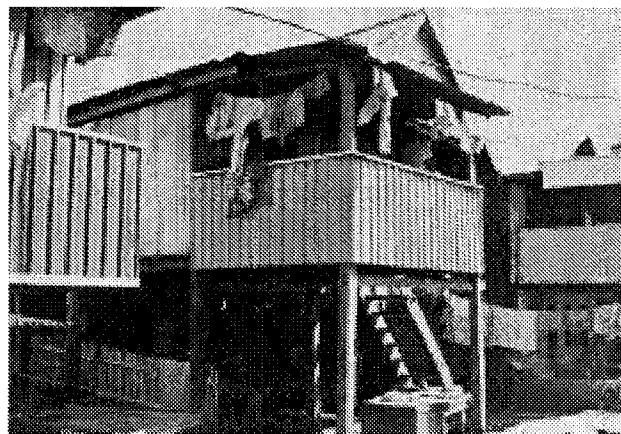


写真2：マカッサル 地上高床式家屋

市街地は、無計画に人口が密集した住宅地、計画的に開発された住宅地、市場・商店街、公共建築、工場などから成り立っている。この内、非計画的な住宅地は、沿岸部に密集する傾向にあり、大きな影響が予想される一方、都市による違いが大きい。これは、住民の出身地である周辺農村部の伝統的な住宅形式を継承しているからである。大きく見ると、ジャワ島の都市では煉瓦造・瓦葺の小さな（核家族単位の）土間式住宅が一般的であるのに大して、スマトラ島、カリマンタン島、スラウェシ島（外島）の都市では、木造鉄板葺の高床式の大きな（拡大家族が同居する）住宅が卓越している。また、外島の都市には、海岸、河岸の水中に杭を立て、その上に床を張った住宅地や市場などが存在している。これらは、海面上昇による土地の欠損や、高潮・水害の頻度の上昇に対して、明らかに異なる影響を受けると考えられる。また、高床式でありながら、土地が限られ、経済成長が著しいマカッサルの場合には、高床式木造の床下部分は多く居室化され、親族や賃借人が住んでいる。このことが、高潮・水害の影響を大きくしている。

ような対応が限界に達すると、資力があれば古い家屋を取り壊し、敷地を造成し、高い建物に直している（写真7）。



写真3：水没した住宅（スマラン）

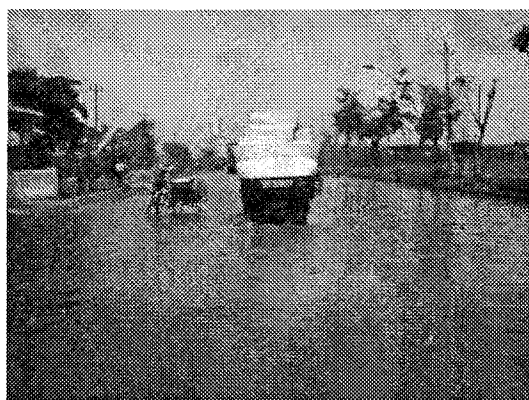


写真4：冠水した道路（スマラン）

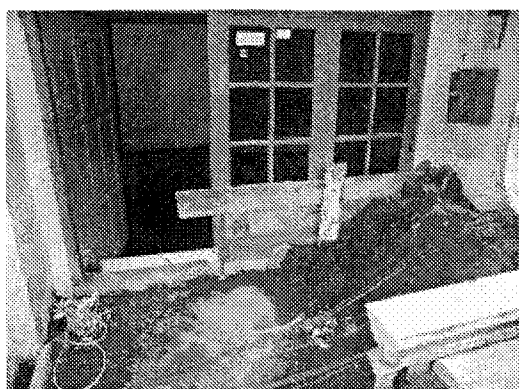


写真5：当面、住宅の内部に土を盛ってしのぐ

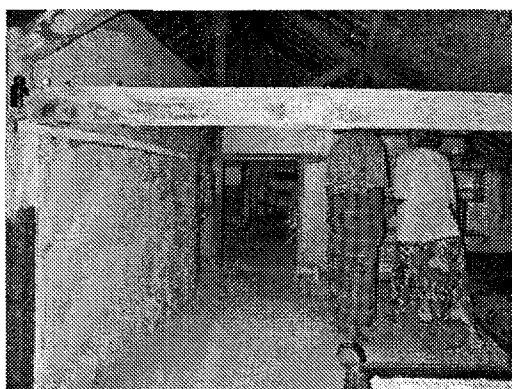


写真6：梁が身長より低い

2.3 適応事例

地盤沈下の大きいスマランにおいては、個人的対応に加えて、駅前広場を調整池にして排水機を付け、浸水の軽減を試みたり、集合住宅（市営）を建設したり、あるいは沿岸に計画的な埋め立てを行い住宅地とするような動きがある。これは、海面上昇に対して、将来採られ得る適応策を例示するものであろう。

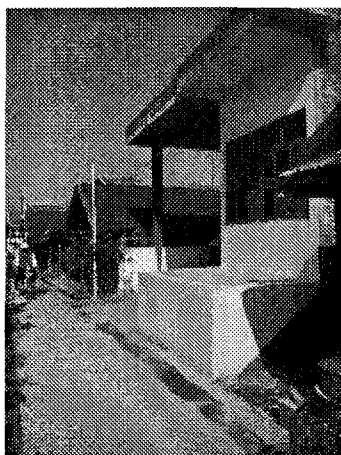


写真7：個別建替えによる適応



写真8：集合住宅（市営）による適応（1階はオープン）

3. 影響の定量評価

3.1 市街地類型

市街地の評価に当たっては、異なる原単位を有する類型別に扱うこととした。類型の設定に際しては、衛星画像等により識別可能であることと、評価の上で意味のある違いがあることを条件として、以下のように設定した。

- 計画的住宅地（自動車が通行可能な道路にほとんどの住宅が面している）
- 非計画的住宅地（自動車が通行不能な細街・歩道により構成されている）
- 集合住宅（3階建て以上の集合住宅により構成されている）
- 公共建築物（単体として衛星画像から内部構成が識別可能な建築と敷地、高級住宅等も含む）
- 商業地（路線商店街、市場など）
- 工場
- 広幅員道路（6車線以上、高架道路も含む）
- 空地（工事中の大規模建築も含む）
- 池、川などの水面

3.2 原単位の把握

建築物に関して、直接価格を質問しても、正確な回答を得ることは困難と考えた。また、大きな物価変動・地域格差が存在する。そこで、本研究においては、目視可能な建物の実測結果から、材料使用量、家財道具等の数量をまず把握し、評価額が必要な場合には、その時点・地域での時価をもって算出することとした。

家屋調査は、平成13年度に、7都市84サンプルを対象として実施した。公共建築、工場、商店街などは、共通性が高く、また経済的な面からの評価法が既に提示されていることから、最も未解明で数の多い住宅を中心に調査を行った。サンプルは、統計的に選択する母集団が不明確であったことから、多面的にデータを収集する目的で、沿岸部の浸水被害をしばしば受けている地区から選択し、家屋・家財道具の実測を行うと共に、過去の浸水によりどのような被害を受けてきたかについて詳しく話を聞くこととした。

表1：都市別・建物部位別の主要な材料

都市名 部位	ジャカルタ	スマラン	スラバヤ	デンバサー ル	マタラム	マカッサル	バンジャル マシ
建て方	土間式 多く2階	土間式 平屋	土間式 平屋	土間式 平屋	土間式 平屋	地上高床式 床下部分を居室 化した土間式二 階建	地上高床式 水上高床式 平屋
基礎	煉瓦、石	煉瓦	石	珊瑚石	煉瓦	石の上に束柱	木(筏地業)
一階床	タイル、プ ラ ス タ ー	セメント＋ 土盛	プラスター 等	セメント	プラス タ ー	プラスター等	木
二階床	タイル、木	なし	なし	なし	なし	木	なし
一階壁	煉瓦	煉瓦、木	煉瓦	煉瓦	煉瓦、木	煉瓦(後補)、木	木
二階壁	煉瓦、木	なし	なし	なし	なし	合板、鉄	なし
サッシ	木	木	木	木	木	木	木
建具	木	木	合板	木	木	木	木
天井下地	木	木	木	木	木	木	木
天井材	合板、アス ベ ス ト	合板、アス ベ ス ト	合板、アス ベ ス ト	竹網代、合板	竹網代	合板、プラス チ ック	合板
小屋組	木	木	木	木	木	木	木
屋根葺材	瓦、アスベ ス ト	瓦	瓦	瓦	鉄板	鉄板	鉄板

次に、主要な部分に関して、1棟あたりの平均的な寸法(面積等)を求め、これから材料使用量を算出した。

実測調査において、必ずしも建物全ての部分を目視確認できない場合がある。例えば多くプラスターにより仕上げられている煉瓦壁については、壁面積から使用個数を推定するような方法を用いた。

表 2：建物各部の平均規模

項目	都市→	ジャカルタ	スマラン	スラバヤ	デンパサール	マタラム	マカッサル	パンジャルマシン
築後年数(年)		27.2	22.6	25.1	14.1	25.1	22.3	36.7
床面積1階(m ²)		51.2	74.2	78.2	89.0	44.0	47.7	89.3
床面積2階(m ²)		38.3	0.0	3.8	0.0	0.0	27.3	5.9
基礎(m ²)		24.2	24.1	32.2	16.9	7.4	46.1	3.1
壁面積1階(m ²)		122.1	120.3	144.9	225.7	123.9	120.3	156.1
壁面積2階(m ²)		90.3	0.0	0.0	0.0	5.5	73.3	5.9
壁開口面積(m ²)		12.1	14.5	12.6	12.8	12.4	10.1	22.2
建具面積(m ²)		7.7	3.5	7.1	10.4	5.3	5.5	8.1
天井面積(m ²)		11.8	9.8	3.2	19.1	2.0	5.6	15.5
屋根面積(m ²)		89.5	107.9	88.7	108.9	82.1	75.0	未詳

その上で、建築密度から、ヘクタール当たりのストック資源量・手間に計算して、次に述べるマクロ分析のための原単位とした。

3.3 衛星画像の解析

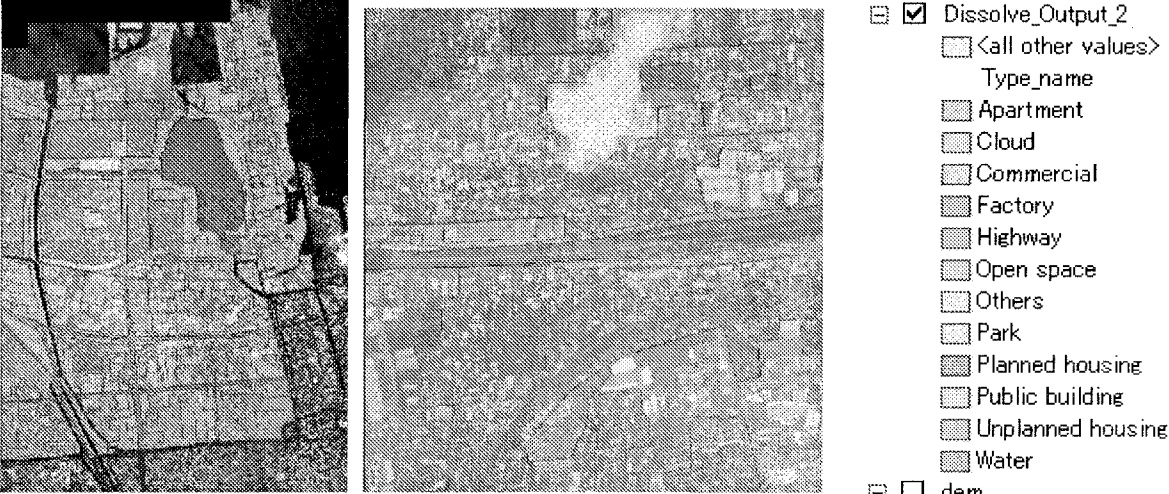


図 3（左右）：ジャカルタ(招聘研究員による判読作業中のデータ)

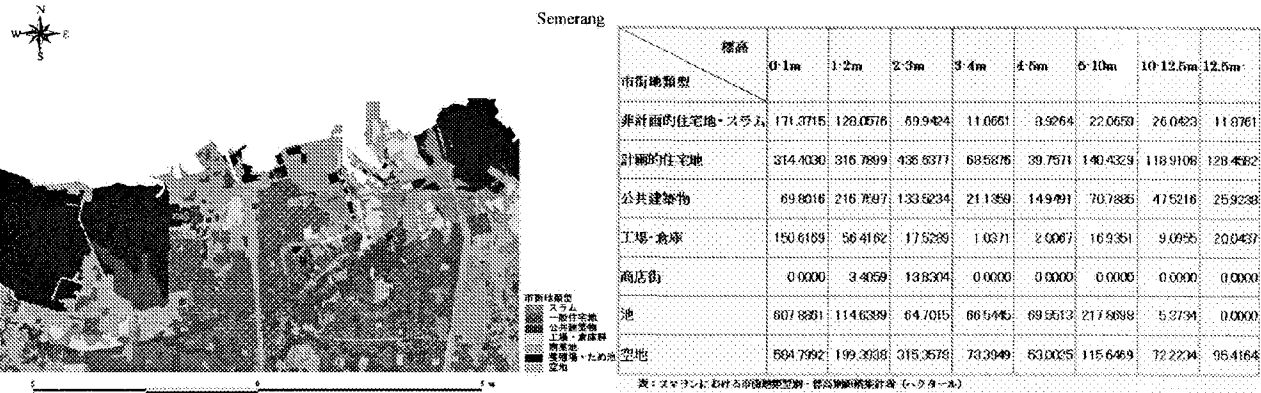


図 4：解析結果 (スマラン)

表 3：面積クロス集計表 (スマラン)

衛星画像は、2000 年度には、LANDSAT、SPOT 等の解像度 1 5 m 程度と低い画像を用いた。大きな建物

(公共建築、工場等)や大通りは識別できたが、密集地の類型識別や戸数カウントは困難であった。調査を進める中、ジャカルタ、スマランなどの主要都市に関しては、雲の少ない高解像度の IKONOS 等が蓄積され使えるようになってきた。コストを考え、モノクロで解析したが、建築類型については十分に識別することができた。UTM 座標系に合わせて、GIS に乗せ、現地の国土地理院 (BAKOSURTANAL) が作成した 2 万 5 千分 1 (ジャワ島)、5 万分 1 (外島) の地形図と重ねて補正した上、市街地類型区分、標高 (低平地については地形図上の単点から推定) 区分のポリゴン作成し、面積クロス集計表を作成した。

これと、先に求めた原単位を組み合わせることにより、建物に関する影響総量を算出することが可能となった。

3.4 影響の総量の把握

まず、SURVAS が全世界を対象に行った単純化された方法⁴⁾に基づき、標高 1 m 未満に存在する総量を計算した。次に、それぞれの都市における潮位変動をもとに、最高潮位+0.9mとして2100年の汀線の標高を求めた。更に、それよりも高い所に関しても、高潮・水害等のリスクが高まると想定し、影響範囲を求めた。

現在地盤沈下が進行しつつある都市に関しては、その変化速度に比較すると、海面上昇の影響は相対的に小さい。地盤沈下が停止し、海面上昇だけが予想通りに進行したと想定する影響評価がどのような意味を有するかについては、検討を要する、より正確には、相乗した効果により大きな範囲の影響のうちの、海面上昇が寄与する部分についての評価が行われるべきであろう。但し、地盤沈下に関しては、ダム等により工業用水確保と洪水調整を行いつつ、工業用の地下水汲み上げの規制を行うような対策が検討されており、成功する可能性はある。

3.5 現地セミナーによる検討⁵⁾

各年度の終わりに、現地調査結果と衛星画像解析結果を持ち寄ったセミナーを開催し、地理学、都市計画、海岸工学等の学識経験者、中央及び地方都市の行政担当者等を招いて、発表と討論を行った。特に、最終年度においては、発表に引き続きワークショップを行い、都市レベル、地区レベル、住宅単体レベルのグループに分かれて、影響と適応策に関する討論を行った。ワークショップにおいては、パネルに 1 件 1 枚のカードをメンバーが記入・掲示し、それを動かしながら「問題の木」を構築する方法を採った。このような

表 4 : マカッサルに関する影響の総量集計表

密度	建築密度 182棟/ha 世帯密度 255世帯/ha
棟当たり原単位	主要材料使用量 木材 4.5m ³ /棟 煉瓦 4,000個/棟 セメント 1,000kg/棟 人の時間(手間) 4人・月/棟(大工及び見習い)
ヘクタール当たり 原単位	主要建築材料 木材 819m ³ /ha 煉瓦 728,000個/ha セメント 182トン/ha 人の時間(手間) 728人・月/ha
標高 1 m 未満区域 での合計	失われる土地面積 22.9ha 影響世帯数 5,840 世帯 建物棟数 4,168 棟 主要な建築材料 木材 18,755 m ³ 煉瓦 16,672,000 個 セメント 4,167.8 トン 人の時間(手間) 16,672 人・月

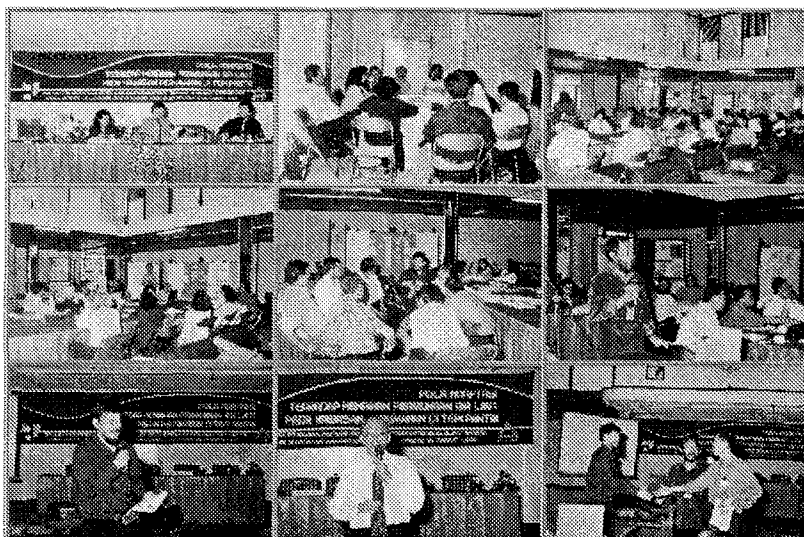


写真 9 : 現地ワークショップ風景

国際協力案件（PCM 手法等）でよく用いられる方法は、インドネシアにおいては、国内公共事業等を巡る地元での討論にもしばしば用いられている。

4. 評価方法に関する検討と提案（影響評価の高度化・具体化に向けて）

現在は、まず粗い値であっても、影響の大きさを広く把握したいという段階である。しかし、個別の都市において、適応策まで視野に入れた検討を行うとすれば、より現実的なシナリオが必要となる。都市の場合、海面がゆっくりと上昇した場合、座して沈没を待つという対応は考えにくい。何らかの対応が行われるであろう。従って、それぞれの都市の条件に合わせて、最善の適応策が講じられた場合における、影響の大きさと適応策のためのコストを合計したものが、正味の影響の大きさと考えられる。但し、物理的・コスト的に最善の適応策が自動的に選択されるわけではない。制度的な制約や、社会文化的条件があり、必ずしも選択過程は単純ではない。そこで、現地ワークショップにより検討を行った。結果的に見ると、海面上昇を考慮しても、都市計画のパラダイムが画期的に変化するわけではなく、これまでに講じられてきた様々の対策を強化することにより対応するような議論が卓越した。しかし、地球環境問題に関する被害者・受苦者の立場に立たされた人々の姿がはっきりしたことにより、「都市開発においても自然とのバランスが重要（ワークショップ紹介の新聞記事の見出しに用いられた）」という認識が醸成されてきたことは新しい状況である。それは、無理な開発や、野放図な市街地拡大を行ったような場所が、重点的に被害を受ける、という認識である。

以下、今後の課題（影響評価をより高度化・具体化する）として、現在議論されている事項を紹介する。

4.1 原単位としての資源量と人の時間

マカッサルの場合について、4,168 棟、4,840 世帯、という影響規模を予想した。これは、金額に直し円換算すると、12 億円程度となり、日本の戸建住宅 20～30 棟程度の価格になってしまう。これには、日本でコストのうち大きな割合を占める人件費（大工手間）が、50～100 分の 1 程度のオーダーであることにも大きく依存している。とすれば、被害額を資材と人件費で合計してしまうと、その陰に何人の人が関係しているのかが見えなくなることとなる。また、このような人件費は日本では下降傾向、インドネシアでは上昇傾向であり、為替レートは比較的安定しているから、今後変動して、あまり違わなくなる動向にある。経済学においては米価や購買力平価に換算したりする方法が考えられるが、都市について国際的な比較を行う上でも、またアジア太平洋という地域で合計するためにも、価格（たとえば米ドル換算）という一元化された尺度とする前の、資材量・人の時間といった基本的な数値を残した形で、より直接的な原単位とするほうが、色々なものが見えてくる可能性がある。例えば、人の時間を用いることにより、たとえば低所得階層に一般的に行われている、自助努力（たとえば自分で家を直す）も評価可能となる。また、たとえば高潮や水害による社会活動の停止や、人命のリスクが高まったような場合に対しても、犠牲者にとって失われた時間や残りの人生は、それを価格に換算することは難しいとしても、人の時間としては同じ次元の量である。

4.2 適応策の検討に基づく脆弱性評価

以上の検討から、現地地形を前提としたときに、将来水没する総資産を見て、その大きさをもって「脆弱性」と呼ぶことは、初期の概算方法としては便利ではあるが、現実のシナリオからは乖離している。むしろ、その総資産が、コストのかからない方法で保護できるような適応策が容易に見出せるような場合は適応可能、そうでない場合は適応困難と考え、後者の場合を脆弱とすることができであろう。

また、海面上昇のように連続的に生じる現象であっても、ある限界を超えたところで適応が著しく困難になるような閾が存在するのであれば、それをもって「脆弱性限界」と呼ぶことはできであろう。たとえば、高床式の家を水辺に建てているようなバンジャルマシンのような都市の場合、多少の海面上昇に対しては、今まで通りの家の建て方で十分対応が可能かも知れないが、ある限度を超えた海面上昇が生じると、都市全体が水没することとなり、逃げ場を失う。そのような場合には、都市の消滅という状況も想定できる。

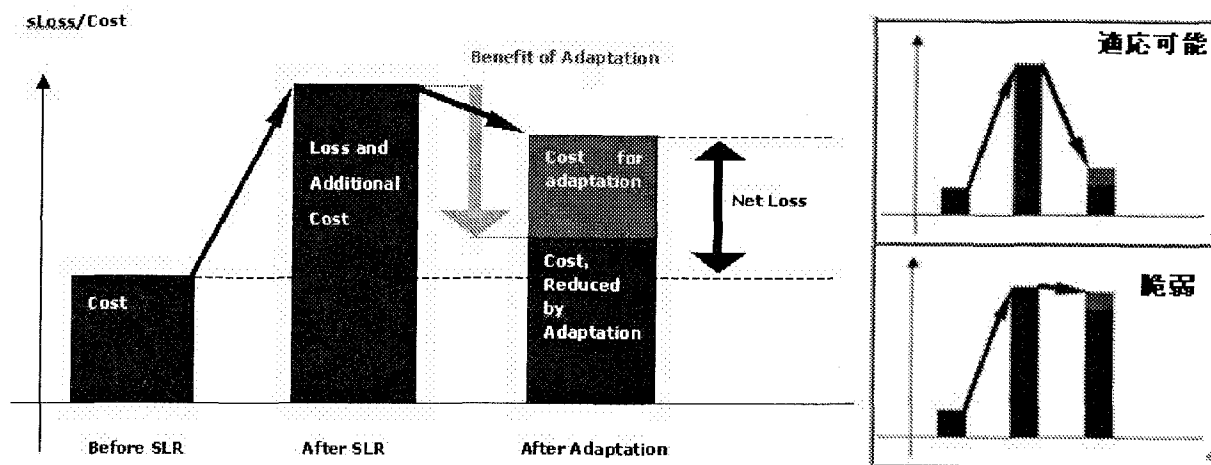


図5 最善の適応策を選択した場合における NET の影響の概念と、脆弱性

4.3 社会経済的制約条件の考慮

有効な適応策として、前述の先駆的事例に基づき、集团的移転、埋め立て・造成、市街地の形式の変更（例えば中高層建物への変更）といった「プロジェクト」が想定できる。しかし、これらはいずれもライフスタイルの変更を伴うものであり、就業形態も含めた社会的な適応が必要となる。

またスマランでの調査、及びそれに基づくワークショップでの討論で指摘されたように、低所得階層においては、現在の就労機会を失うことの恐れや、まとまった資金が無いために、例え移転することが最も経済合理的な選択であったとしても、それを選択せずに、現在の場所に留まり、日常的な高潮被害の復旧費や、より頻繁な家具の買い換え、建物の修理・建替等の費用を負担し続ける傾向があるという。その結果、経済的にみて最も合理的な解決は選択されず、社会的制約から脆弱性を生じることとなる。

世界銀行では、小割の零細な資金を貸し付け、確実に返済してもらうようなシステム作りに現在力を入れている。ある壁を超えて合理的な解決を選択・実現するために、有効に機能する融資システムが成立しうるなら、「加害者からの被害者に対する補償」とは別の意味で、脆弱性を減ずるための支援になりうるであろう。

補注：

1)三村信男・原沢英夫編「海面上昇データブック2000」(国立環境研究所地球環境研究センター、2000.1) pp.24-25

2)黒木貴一「原単位法によるタイ国沿岸域での影響予測評価」、海津正倫・平井幸弘編「海面上昇とアジアの海岸」(古今書院、2001.9) 所収、pp.144-147

3)「地球環境研究総合推進費 平成13年度研究成果-中間成果報告集-」(環境省地球環境局研究調査室)に報告されている。平成12年度も同様。また、平成14年度最終成果について近刊予定。

4)“Global Change and Asia Pacific Coasts –Proceedings of APN/SURVAS/LOICZ Joint Conference on Coastal Impacts of Climate Change and Adaptation in the Asia-Pacific Region- Kobe, Japan November 14-16 2000

5)“Prosiding SEMINAR Bandung, 12-13 Maret 2002, Dampak Kenaikan Muka Air Laut pada Kota-kota Pantai di Indonesia –Tema: Kerugian pada Bangunan dan Kawasan Akibat Kenaikan Muka Air Laut pada Kota-kota Pantai di Indonesia”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman + National Institute for Land and Infrastructure Management, 2002.3, ISBN 979-8954-24-6 (インドネシア居住・地域基盤整備省人間居住研究所+日本国土交通省国土技術政策総合研究所編、インドネシアの沿岸都市における海面上昇の影響に関するセミナー(テーマ:沿岸都市における海面上昇による建物と地区の損失)プロシーディング、2002年3月12-13日)としてインドネシアで出版された。