

海岸保全計画の手法について

堀 口 孝 男*・奥 山 文 雄*・藤 森 研 一*

1. 概 説

公共事業としての国土保全事業には治山、治水事業のほかには海岸事業も含まれるが、従来、経済審議会が策定した長期経済計画には海岸事業がこの部門に掲げられたことはなかった。これは一つには海岸事業の歴史が浅く、事業計画策定のための基本資料が不備であったこと、また海岸災害が相当大きいにもかかわらず、この防災対策として実施される海岸事業が独立した公共事業として一般に認識されていなかったことなどによると考えられる。

海岸事業の歴史が新しいことは海岸法の制定が昭和 31 年に
行なわれたことによってわかる
ごとく、それ以前では根拠法
のない予算措置として公共事業
のなかできわめて小さい額を占
めていただけであった。実際に
事業としての体をなしてきたの
は 34 年伊勢湾台風以後で、表
—1 に示すごとく 34 年、35 年、
36 年の伊勢湾台風、チリ地震
津波、第 2 室戸台風など 30 年代の大災害が原因となっ
ている。これら大災害を契機として海岸事業関係者は、
事業遂行のために必要な基礎資料の収集、事業計画策定
に必要な方法の研究に 36 年より着手してきており、ある
程度の成果はみられるようになった。このような状況を
反映してか、42 年 2 月に策定をみた経済社会発展計
画には国土保全の部門に海岸事業は掲げられ、長期的視
野に立つ事業計画、公共事業投資の意義が認められたの
である。

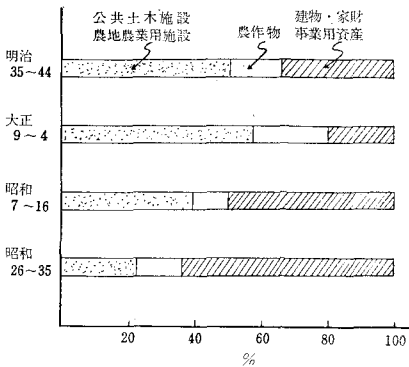
しかしながらここで考えなければならないことは、海
岸事業が対象とする防護区域の経済的社会的変化であ
る。これは経済社会発展計画においても、「とくに、重
要水系における治山、治水施設、人口や資産が集中し
ている臨海地域の海岸施設を重点に整備をすすめること
に……(以下略)」といわれているように、臨海部の利用
状況が著しく変化してきていることに注意しなければならない。
海岸災害の内容を時代別にみると 図—1 に示す

表—1 海岸事業費

年 度	事 業 費
33	1 775 百万円
34	3 591
35	5 747
36	9 146
37	12 788
38	16 574
39	18 535
40	18 747
41	21 540

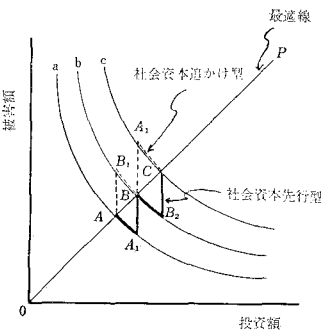
註：伊勢湾、チリ津波等の防
策事業費を含まない。

図—1 海岸災害の比率



ようになり、明治、大正時代は農業関係災害の比率が圧
倒的に多かったものが、昭和時代の戦後においてはこの
比率が逆転しており、建物、家財、事業用資産の被害率
が昭和時代に入って大幅に増加してきている。このよう
な傾向は今後ますます強まることが予想される。運輸省
港湾局の調査によれば、臨海部の土地需要は 43 年度よ
りの 5 カ年で約 23 000 ha もあり、実績として 29 年よ
り 42 年に至る間、ふ頭用地 1 550 ha、工業用地 189 000
ha、都市再開発用地 21 930 ha の土地造成を行なってき
ている。したがってすでにある防護区域の都市化、工業
化に対する場合は無論のこと、新たに付加されて都市化
する土地の防護が保全計画の重要な問題の一つとなるで
あろう。このような傾向を 図—2 のうえで再現するなら
ばつぎのようになる。横軸に海岸事業投資額を表わし、
縦軸に想定被害額をとり、防護区域の経済状態に応じた
無差別曲線を描く。これを a, b, c とし、右上に資産が
増大していく状態を示す。また曲線が右下りなのは投資

図—2



額の増加によって
被害額が軽減して
ゆく関係を表わし
ている。そこで、
経済状態の推移に
つれて海岸投資と
被害額を極小にし
ながら均衡のとれ
た発展をいかにす
べきかという問題
が提起される。い

* 正会員 運輸省港湾局防災課

うまでもなく海岸事業は社会資本先行型にははるかにおよばないものであり、社会資本追かけ型において、社会資本現状の把握、追かけの速度、社会資本均衡点への接近方法の検討が要請されてくるのである。

かかる意味あいから、われわれは現在における海岸保全計画の手法について再吟味を行ない、今後必要となるべき統計資料、検討すべき方法をいくぶんなりとも明らかにして海岸事業の進展のために役立たせたいと考えている。

2. 手法の検討

事業計画の策定に関する手法は大別して海岸事業全体を対象とする巨視的分析と、個々の海岸における事業投資を問題とする微視的分析があり、また両者を結びつけるものとして投資額配分の問題がある。

巨視的分析で以前から用いられた方法には、国民総生産 (G.N.P.) と海岸資産額との相関により、将来のある時期における国民総生産に対応した海岸資産額を算出するものがある。すなわち表-2 にみるように国民総生産と海岸資産額を評価し、将来の国民総生産の増大をたとえば経済社会発展計画におけるように年率平均 8.5% で伸びるとするとき、国民総生産と海岸資産との相関は、

$$X=48\,236+0.821585\,Y\cdots\cdots(1)$$

X; G.N.P. (億円)

Y; 海岸資産 (百万円)

表-2 過去の海岸資産

(40 年価格)

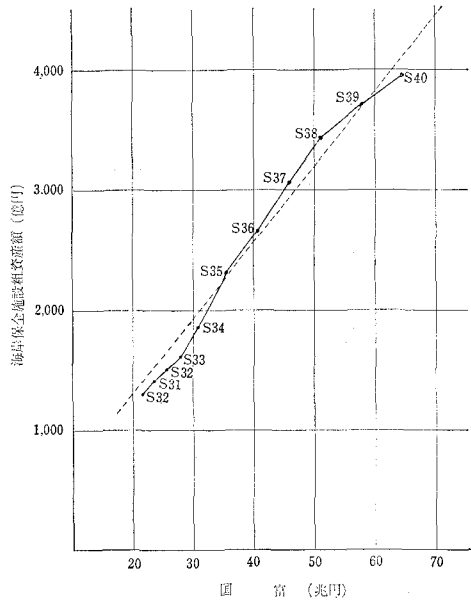
年 度	G.N.P. (億円)	国 富 (兆円)	海 岸 資 産 (百万円)
26	88 793		57 385
27	98 849		64 769
28	107 575		74 463
29	110 544		85 718
30	123 908	21.81	94 736
31	134 396	23.57	103 066
32	147 494	25.72	109 904
33	152 717	27.69	116 712
34	172 919	30.51	139 376
35	199 238	35.22	182 180
36	226 973	40.44	213 659
37	239 098	45.97	243 858
38	267 812	51.80	280 119
39	295 972	51.19	298 920
40	313 448	64.21	316 132

表-3 海岸資産の増加
(40 年価格)

年 度	G.N.P. (億円)	海岸資産 (百万円)
41	336 030	350 288
42	364 593	385 054
43	395 582	422 772
44	429 208	463 700
45	465 690	508 104
46	505 274	556 284
47	548 222	608 558

のごとく簡単な一次式で表現されるから、式 (1) により表-3 のように国民総生産と海岸資産との値が得られる。したがって 42 年度から 46 年度への資産の増加量は、
 $556\,284-350\,288$
 $=205\,996$ (百万円)

図-3 国富と海岸粗資産



となる。表-2, 3 の資産は inventory method による純資産を示しているが、過去の事業費を積上げた粗資産額を用いる場合もある。投資の規模を純資産の増加とする場合には、償却に見合う更新投資を考慮する必要がある。これと類似した方法は国富と海岸資産との相関にも用いられる。国富調査報告あるいは各年度の国内資本形成から表-2 に示す国富が算出され、国富の将来における増加が昭和 30 年を基準とする年次に 2 次式にしたがって増加するものと考えれば結果はつぎのようになる。ただしこの場合には粗資産額を使用した。

$$K=0.620733\,T+0.3461\cdots\cdots(2)$$

K; 海岸粗資産額 (百億円)

T; 国富 (兆円)

上述の方法は過去の海岸事業投資と G.N.P. あるいは国富など国全体の経済指標との間に一定の傾向をあてはめ、この傾向を外延させるというもので、過去における海岸事業への財政支出がそれが適正であるかどうかを問わず固定的な傾向をもつものとし、将来の長期事業計画への指針とするものであり、投資額の妥当性を積極的に証明するものではない。投資額の妥当性を求める手段は所得極大あるいは費用極小の思想に基づくのが普通であるが、Eckstein が用いた効用極大化モデルにしたがえば、計画の最適点は費用極小化モデルの適正点より大きいところにある。すなわち

$$U=F(Y)$$

U; 効用

Y; 所得

と効用関数を仮定し、s を高潮災害を起こす潮位、s の発生する確率を p(s) とする。海岸事業により r までの

潮位は災害を防除することができるものと考え、いま

$$x=s-r$$

とすると、効用の損失は

$$\Delta U = F(Y_0) - F(Y_0 - g(x)) = h(x)$$

Y_0 ; 災害のないときの所得

$g(x)$; x による所得の減少

となる。期待効用の極大は換言すれば効用損失期待値の極小を求めることであるから

$$\bar{h}(\bar{r}) + F'(Y_0)C(r) = 0 \quad (3)$$

ここで

$$\bar{h}(\bar{r}) = \sum_{s=r+1}^{\infty} p(s)h(s-r)$$

$C(r)$; r の建設費

において

$$\frac{d\Phi}{dr} = \bar{h}'(\bar{r}) + F'(Y_0)C'(r) = 0 \quad (4)$$

の解が投資規模を表わす。すなわち

$$\sum_{s=r+1}^{\infty} p(s)h'(s-r) = F'(Y)C'(r) \quad (5)$$

一方、費用極小化モデルの解は

$$\bar{\varphi}(r) = \bar{g}(r) + C(r) \quad (6)$$

を極小にすることであり、

$$r_1 - r_0 = - \frac{\Phi(r_0)}{\Phi'(r_0)} = - \frac{\sum_{s=r_0+1}^{\infty} p(s)\{F(Y_0) - F(Y_0 - g(s-r_0))\} + F'(Y_0)C(r_0)}{\sum_{s=r_0+1}^{\infty} p(s)g'(s-r_0)\{F'(Y_0 - g(s-r_0)) - F'(Y_0)\}} \quad (11)$$

となる。効用関数の具体的表現は不可能であるから、類推値としてつぎの値をとることも考えられる。

$$r_1 - r_0 = \frac{\sum_{s=r_0+1}^{\infty} p(s)g(s-r_0) + C(r_0)}{\sum_{s=r_0+1}^{\infty} p(s)g'(s-r_0)g'(s-r_0)} \quad (12)$$

巨視的分析に費用極小化の原理を用いるときは、全国的分野にわたる確率の表現は困難であるためつぎのような手段が考えられる。海岸資産の増加は被害額の減少をもたらすと考え、この傾向を過去の実績より明らかにしてみる。一般に被害額は国民総生産、海岸資産額、災害をもたらす外力の規模、災害の年間発生数など種々の因子と関数関係にあると想定される。

$$D = f(V, K, S, N, \dots) \quad (13)$$

D ; 年間被害額

V ; G.N.P.

K ; 海岸粗資産額

S ; 外力の規模

N ; 外力の発生数

式 (13) を生産関数と類似して指数関数として表現すれば

$$D = \text{Const} \times V^{\alpha} \times K^{\beta} \times S^{\gamma} \times N^{\delta} \times \dots \quad (14)$$

影響する因子を V, K に限定し、 $\alpha = +1$ とした場合

$$\frac{D}{V} = \text{Const} \times K^{\beta}$$

$$\bar{\Psi}'(r) = \bar{g}'(\bar{r}) + C'(r) = 0 \quad (7)$$

から

$$\sum_{s=r+1}^{\infty} p(s)g'(s-r) = C'(r) \quad (8)$$

の解が投資規模となる。式 (5) の解が式 (8) の解より大きいところにあることはつぎのように証明される。一般に限界効用逓減の法則から

$$F'(Y_0 - g(x)) > F'(Y_0)$$

よって

$$h'(x) = F'(Y_0 - g(x))g'(x) > F'(Y_0)g'(x) \quad (9)$$

ただし $x > 0, g(x), g'(x) > 0$

式 (8) の解を r_0 とするとき

$$\begin{aligned} -\Phi'(r_0) &= \sum_{s=r_0+1}^{\infty} p(s)h'(s-r_0) - F'(Y_0)C'(r_0) \\ &> F'(Y_0)\left\{\sum_{s=r_0+1}^{\infty} p(s)g'(s-r_0) - C'(r_0)\right\} = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

したがって、 $\Phi'(r_0) < 0$ となり、これは式 (5) の解が式 (8) のそれよりも大きいところにあることを示している。どの程度に大きいかは式 (5) の近似解を r_1 とするとき

ただし左辺の D には移動平均法による平滑化の手段をほどこし、長期的傾向を抽出する。いま $D/V = F$ とすると、これは年間平均被害率で表-4 からつぎのようになる。

$$F = 0.14821 K^{-0.45284} \quad (15)$$

海岸資産を造成するための費用は一定額償却の方法、すなわち減価基金方式によるものと考えれば

$$\frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} K$$

i ; 利子率, n ; 耐用年数

表-4 平均被害率

(単位: 億円, 40 年価格)

年度	被害額	平均被害額	海岸粗資産	G.N.P.	平均被害率
25	1 192				
26	1 060				
27	54	883	932	98 849	0.008933
28	1 672	699	1 048	107 575	0.006492
29	435	511	1 181	110 544	0.004623
30	266	533	1 294	123 908	0.004302
31	130	242	1 402	134 396	0.001801
32	160	747	1 498	147 494	0.005064
33	221	776	1 595	152 717	0.005081
34	2 959	1 073	1 853	172 919	0.006205
35	412	1 144	2 317	199 238	0.005741
36	1 613	1 124	2 677	226 973	0.004952
37	514	684	3 031	239 098	0.002860
38	123				
39	760				

したがって年費用は $i=5\%$, $n=50$ 年とすると

$$C=0.14821 K^{-0.45284} \times V+0.05477 K \cdots \cdots (16)$$

$dC/dK=0$ が求める妥当投資額となり

$$V=0.8161 K^{1.45284} \cdots \cdots (17)$$

単位：億円

の関係式が得られる。

投資額の規模を推定する他の手段としては限界資本効率基準にしたがう方法がある。表-5 は昭和 26 年以降の国民総生産の増分に対する総固定資本形成の累計値との比をとったもので、これを粗限界資本係数と名づける。

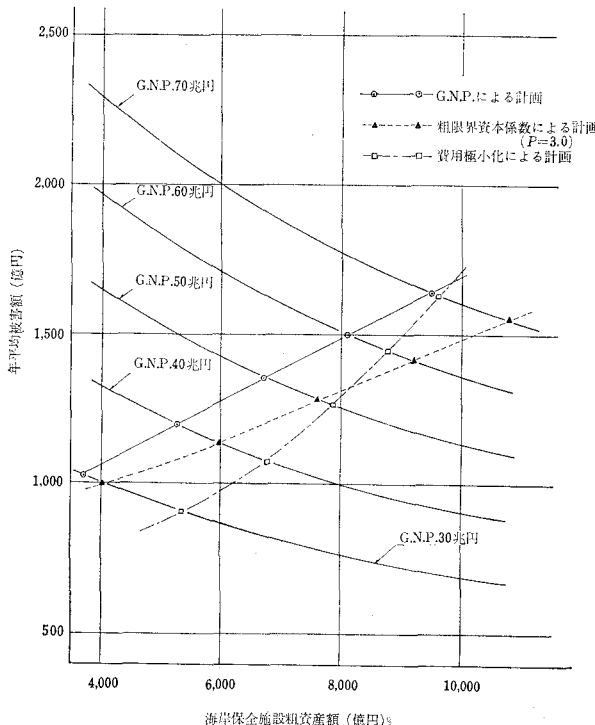
表-5 粗限界資本係数

(単位：10 億円)

年次	I	(1) $\frac{I}{\sum I}$ 26	W_t	(2) $W_{t+1}-W_{26}$	(1) (2)
26	1 427	1 427	7 070	801	1.7815
27	1 635	3 080	7 871	1 436	2.0588
28	1 977	5 057	8 566	1 732	2.9185
29	1 936	6 993	8 802	2 796	2.5003
30	2 110	9 103	9 866	3 631	2.5064
31	2 582	11 685	10 701	4 674	2.4995
32	3 152	14 837	11 744	5 090	2.9145
33	3 175	18 012	12 160	6 699	2.6884
34	3 894	21 906	13 769	8 794	2.4907
35	5 076	26 982	15 864	11 003	2.4520
36	6 311	33 292	18 073	11 968	2.7816
37	6 643	39 936	19 038	14 254	2.8015
38	7 246	47 182	21 324	16 497	2.8599
39	8 043	55 225	23 567	17 593	3.1389
40	8 279	63 502	24 663		

註：I；国内総固定資本形成額
W；G.N.P.

図-4



る。粗限界資本係数は表-5 でみるように近年においてはほぼ一定の範囲に値が近づいている。いま防災施設の産出効果のある基準年次の防災水準により生ずるであろう損失額と想定年次の防災水準における被害額との差、いいかえるならば被害軽減額と考える。したがって

$$\frac{K_t - K_0}{(F_0 - F_t) W_{t+1}} = p \cdots \cdots (18)$$

K ；海岸粗資産額

F ；被害率

p ；粗限界資本係数

W ；国民総生産

Suffix 0 は基準年次

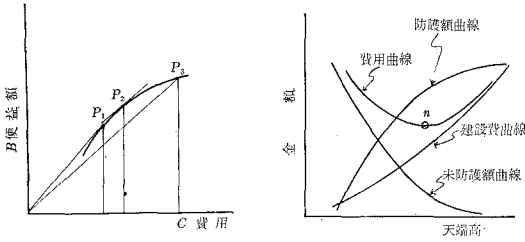
t は目標年次

被害率に式 (15) と同様な表現を用いれば式 (18) は K_t の方程式となり、その値が決定される。この手法は防災施設の資本効率を総固定資本形成の資本効率と同水準に置くものとし、マイナスとなる被害額を除去するというもので、防災施設に対する各種施設の耐用年数の差異、各種施設の限界資本係数の差などを無視している点で論議のあるところである。しかしながら、資本に財政的な制約があり、5~10 年程度の長期計画期間内で他部門への投資と競合するとき、この程度の投資は許容されるべきものとするのである。

以上に述べた国民総生産に相關させる方法、限界資本効率基準による方法、費用極小化による方法を用いて、図-2 と同様に、現状から将来への方角を評価する図を画けばその概略の様相は図-4 のようになる。国民総生産による計画はゆるやかに最適線を追う型であり、限界資本効率による計画はある時期より社会資本先行型に移行する。ただし図-4 において年平均被害額と海岸粗資産額との関係は式(15)にしたがっているもので、年数を経るにつれてその間の資料に基づきこれら曲線群を修正する必要がある。しかしいづれにせよ、被害額の絶対値、最適線との距離、最適線への接近方法、社会資本先行の度合と被害額との関係など将来の状態を示唆しており、海岸保全計画に役立つ戦略図として利用することができる。

微視的分析における適用モデルには費用極小化モデルと費用便益比率モデルが考えられる。事業規模の妥当性については前者のモデルが積極的な証明力を持つものであり、オランダの Delta project, 米国 Florida 半島の高潮対策などもこのモデルを計画に用いている。ところでこれら 2 つのモデルは相互に結びつけることが可能である。いま海岸保全施設が全くない場合の被害期待値を D_0 、投資による防護額を P 、建設費を C とするとき、 P , C を天端高 h の関数と考えれば損失費用

図—5



は、

$$\phi(h) = \{D_0 - P(h)\} + C(h) \dots\dots\dots(19)$$

図—5 において費用が極小となる N 点は

$$\phi'(h) = -\frac{dP}{dh} + \frac{dC}{dh} = 0$$

よって

$$\frac{dP}{dh} \bigg/ \frac{dC}{dh} = \frac{dP}{dC} = 1 \dots\dots\dots(20)$$

P が費用便益比率モデルに含まれる便益と同一の範囲、種類について算定されているとすれば

$$\frac{dP}{dC} = \frac{dB}{dC} = 1$$

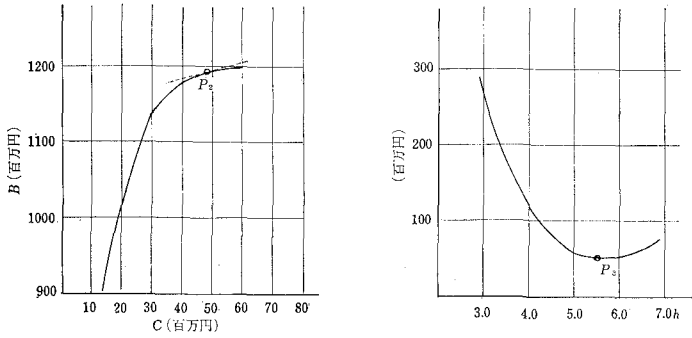
となり、これは超過便益が極大となる P_2 点である。この関係を具体的に千葉港海岸で示せば 表—6、図—6 のようになる。防護額、損失額はともに年単位で表示しており建設費用は減債基金方式で算定している。両者のモデルから天端高 5.50 m 程度に築造することが妥当となり、現実の事業もこの天端高で施行されている。事業が後に生ずる再開発の問題を含めてむだなく実施するには超過便益を極大にすることを原則としており、また便益と費用の比率が 1 より大きければ大きいほど施行順位が

表—6 千葉港海岸

(単位：千円)

天端高 (m)	防護額	建設費	被害額	損失額
3.0	943 950	15 761	251 941	267 702
3.5	1 039 376	20 489	156 460	176 949
4.0	1 103 473	26 005	91 318	117 323
4.5	1 148 107	31 521	47 684	79 205
5.0	1 175 780	37 825	20 011	57 836
5.5	1 189 561	44 662	6 230	50 892
6.0	1 195 029	52 011	763	52 774
6.5	1 195 177	59 103	90	59 193

図—6 千葉港海岸



高いことを示しているから、他地区との競合関係にある場合にはこの比率が判断の目安となる。したがって費用便益比率モデルは超過便益極大点に着目して利用するときには、かなりの有効性を保つものと考えられる。なお、期待効用極大化の適正点は N 点よりも大きく、海岸事業の投資規模が不足している時点では第一目標とするには過大であり、遠い将来の目標点になるものと考えられる。

個々の海岸への投資分配に関する方法は現在までのところほとんど検討されていない分野である。効用を高くしめるには限界資本効率を均等化することが一般にいわれているが、さきの超過便益極大点 $dB/dC=1$ も限界資本効率を表現しており、すべての海岸にこれに達するよう一律な投資をすることは財政の面から許されない。また逆に限界資本効率を均等化するため、天端高が不十分であったり、延長が不足するようなことになれば、効率は均等であっても事業の意義を失うことになり、事業の不可分性からして困難な点がある。

一つの試みとしては、背後の想定被害額に基づいて階級別に分類し、各階級の投資基準を設定することが考えられる。この投資基準では将来 $dB/dC=1$ の点まで達するとしても各年度における事業費分配に格差を設け、同一階級内では整備水準を一律にするような分配が考えられる。あるいは、自然条件を共通にするような湾や沿岸において、各地区の海岸への投資分配に重みをつけ、ある一定の時期における損失額が極小となるような配分

表—7 地域別海岸資産
(昭和 38 年度) (単位：百万円)

地 域	資産額	構成比 (%)
北 海 道	2 566	1.0
東 北	18 665	7.0
関 東	21 503	8.0
東 海	123 732	48.0
北 陸	4 275	1.6
近 畿	46 805	17.4
中 国	12 323	4.6
四 国	15 213	5.7
九 州	18 508	6.7
計	268 580	100.0

手段を考慮することも可能であろう。ちなみに海岸資産の地域別分布は経済審議会の地域部会で検討されたことがあり、表—7 のようになる。この表から明らかなごとく東海地方の比率が大きく、伊勢湾高潮対策事業による比重がかなり大きいこ

とを示している。

3. 結 語

以上述べたごとく保全計画策定の手法について多少の考察を行なったが、計画手法の開発は今後大いに研究される必要があることは論をまたないとしても、これら手法の開発は資料の巧な収集方法にも依存しており、このため、つぎの 2 つの点は基礎的な問題として是非とも行なう必要がある。

(1) 自然条件資料の整備

過去の風信記録、高潮位記録、波浪記録は主要な湾や沿岸については比較的整備されているが、確率分布の導入など数学的処理を行なうには十分でなく、年最大値の時系列変化を求める必要がある。また全国の海岸については資料の整備が極度に不足しており、早急に整備することが望まれる。

(2) 防護区域の経済的社会的指標の整備

臨海部の利用状況は急激に変化する可能性があり、将来の傾向を考慮して防護区域の経済的社会的状況を把握する必要がある。このため区域内の人口、面積、住家数、非住家戸数、工場数、農地、生産額あるいは付加価

値額など必要な資料を背後地の地盤高に分類して収集し、想定被害額あるいは便益額の算定に役立たせなければならない。これはぼう大な作業であるが他の公共事業がこれらの調査を実施しており、海岸事業だけこれを免れることはできない。

参 考 文 献

- 1) 国民所得統計年報：昭和 42 年版，経済企画庁 1967.
- 2) 国富調査報告：昭和 30 年，35 年，経済企画庁.
- 3) 経済的投資規模算定書：運輸省港湾局防災課，昭和 39 年.
- 4) 前田 清：経済成長と社会開発，講談社，昭和 42 年.
- 5) 久保島信弘：海岸保全計画論，夏期研修講義集 B，土木学会水理委員会 1965.
- 6) Rapport Deltacommissie Deel 3.