

港湾の最適投資基準

——神戸港における測定の一例——

是 常 福 治

(神戸市港湾局)

1 はしがき

国際港湾セミナーの一行が神戸港を見学したときのことです。討論会で研修生の一人が次のような質問をしています。

「日本の港では、神戸港でも同じだと思うが、港の混雑が大体月末に集中している。施設はそのピーク時に合わせることはむづかしいと思うが、どの辺に目標をおいているか」

これに対して我が方は、「港湾建設計画は将来の貨物取扱量を推定して、これに基づいて行なう」と答えています。しかしこの答は質問者を十分満足させなかったようで、質問者みずから「対策としては平均値をとる必要があるのではないかと思う」と述べています。(月刊「神戸港」No. 81号参照)

記録だけでは十分わからないが、この質問者は「もしピーク時を目標とするならば不経済ではないか」と云う疑問をもって、「港湾投資の経済的な基準の立て方」を問題としていたように思われます。しかし日本では港湾の建設投資を経済ベースにおいて考えようとする意識は極めて新しいもので、まだ十分成熟していません。港湾の建設および運営は行政団体の行なう公共サービスであるとする考え方がなお支配的です。

「港湾は曲り角にきている」と云われています。多くの問題が一時に浮かびあがっているからでしょう。そしてこれをかきたてているのは港をめぐる経済的社会的な諸条件の移り変りです。問題の解決はこれ等の諸条件の変化

に適應するよう港の体制を変えるより外ありません。新しい環境に即応する「港湾経営に関する基本的指針の確立」です。運輸省の港湾審議会は、港湾管理の改善に関する当面の施策について、この必要を指摘し「成熟した段階にある港湾にあっては……能率的運営と企業見地に立った建設及び管理を加味した体制を築くことを検討すべき時期にきているものと判断する、………よって港湾管理者は企業家マインドを充分備え、経営の採算について充分配慮することが肝要である」と答申しております。つまり「企業性」の導入です。このことは日本の港湾経営に一つの時代を画するものと言えましょう。そしてこの意識に立って、はじめて港湾投資について、その「経済性」が問題となります。そして「最適基準」という概念も具体的なものとなってきます。

英国の「ロッチデール報告」にも、「輸送産業は、公共サービスの分野として扱われていることもその一つの理由であるが、健全なファイナンスの諸原則を適用する必要はないと云う考え方が………主要港湾に関する限り公共事業の概念を返上したい。この概念がある限りポートオーソリティーが、その財政処理を行なうに当って、健全な経済的原則に立って処理することを阻むことになるからである」と指摘されています。

「公共事業ベースから企業ベースへ」、このためには港湾の投資、財政運営及び組織のすべての分野に亘って経済的なものの考え方を導入しなければなりません。投資の最適基準と云うのもその一つです。

しかし港湾投資の最適基準を考える場合、それをどのような内容と範囲について考えるかは単純ではありません。港湾が多様な施設から合成されているだけでなく、港湾産業の経営主体は、一つの港においても単一ではないからです。又港湾の基本施設だけについて見ても、投資金額でもって一義的に示すことは困難です。建設費が港それぞれの自然条件に大きく支配されるからです。

しかし、われわれは、港の規模をその本船バースの数で言うのが普通です。

港の整備計画もその目標を本船バース数で示されます。事実、バース数がきまると、港の他の施設（上屋、倉庫等）も大体見当をつけることができます。この意味で、ここでは港湾投資の最適基準を本船バース数によって考えて見たいと思います。

2 測定の考え方

港湾投資の最適基準は、端的に言えば“利用者が港で支払う費用を最少にするもの”です。少しつっ込んで言えば、“ふ頭で取扱かう貨物の単位当り費用が最少となる点”であります。この費用は、大まかに考えると“ふ頭費用と荷役サービス費用”とから成っています。そして“ふ頭費用は、ふ頭使用料と船舶が港に滞留する間の運航費用”が含まれます。このふ頭費用と荷役費用は無関係ではないのですが、ここでは問題を簡単にするため、ふ頭費用だけについて考えることにします。又このふ頭費用の貨物単位当りは、ふ頭の貨物取扱能力、従ってその設備投資の程度によって変動しますが、これも別の機会に譲って、ここでは普通の雑貨ふ頭をとり上げることにします。そうするとふ頭費用の取扱貨物単位当りは、船舶が支払うふ頭使用料と在港期間の運航費の大きさにおきかえて測定を簡易化することができます。即ち、ふ頭使用料総額をB、船舶の在港中の運航費用をSとすると、船の支払うふ頭費用総額Cは

$$C = B + S \dots\dots\dots(1)$$

となります。このCを最少とする港の規模が最適投資基準となるわけです。この基準も計算を簡略にするためバース（船席）数で表わすことにします。

ふ頭費用Bは、港湾経営者から言えば、供給総コストです。即ち、施設の減価償却費、維持補修費、支払利子、地代と直接間接の管理費です。これは港の規模によって変動します。即ちバース数が大きくなると総供給コストも大きくなります。

そしてその港での船舶の揚積貨物量をTとすると、貨物単位当り費用 C_t

は

$$C_t = C/T = (B+S) / T \dots\dots\dots (2)$$

となります。これを最少にする点はその港の最適規模です。

ここでもう一度国際ゼミナー生の質問に返しましょう。そこで指摘されたのは入港船の月末集中でした。港の建設計画は、バラツキの大きい入港隻数のどこに目標をおいているかを問題にしていたのです。次表は神戸港の昭和40年3月から8月までの入港隻数の度数分布です。最低7隻、最高41隻とかなり大きなバラツキが見られます。

第1表 到着隻数別度数分布 (神戸港40年3～8月)

入 港 隻 数	度 数	到 着 隻 数	度 数
1 ～ 5	—	25 ～ 30	23
6 ～ 10	5	31 ～ 35	6
11 ～ 15	28	36 ～ 40	2
16 ～ 20	59	41 ～	1
21 ～ 25	60	計	184

(注) 到着隻数 3,826隻 (内バース待した船 延 422隻)

日 平 均 20.8隻

この最高時に合わせてバースを造ると、バースの遊休損失が大きくなります。最低時に合わせると、バースの遊びはなくなりますが、船の側の沖待ちが大きくなります。

そこで或る期間にバースが使用された数を O_b とし、遊休数を I_b とすると、バースの供給コスト B は

$$B = C_b (O_b + I_b) \quad \text{但し } C_b = \text{バースの供給単位コスト}$$

となります。また船舶がバースに着いている延数を O_b 、沖待ちしている延数を I_b とすると、入港船の総運航費用 S は

$$S = C_s (O_s + I_s) \quad \text{但し } C_s = \text{船舶の運航単位コスト}$$

となります。これを(1)式に代入すると

$$C = C_b (O_b + I_b) + C_s (O_s + I_s) \dots\dots\dots (3)$$

このうち O_b と O_s は同じ事柄をバースと本船のそれぞれから表わしたものであるから、

$$O_b = O_s = O$$

従って(3)は次のように表わすことができます。

$$C = O (C_b + C_s) + C_b I_b + C_s I_s \dots\dots\dots (4)$$

となり、これを(2)式に代入すると取扱貨物単位当りコストは

$$C_t = \frac{O}{T} (C_b + C_s) + \frac{I}{T} (C_b I_b + C_s I_s) \dots\dots\dots (5)$$

となります。この式で O は使用されたバースの単位数ですが、これはバース総数を N_b 、各バースの使用された平均日数を D とし、1バース1日当り平均荷役貨物量を T_d とすると、

$$O = N_b D, \quad T = N_b D T_d$$

$$\text{従って } O/T = N_b D / N_b D T_d = 1/T_d$$

となり、式(5)中の $\frac{O}{T} (C_b + C_s)$ は、バースの荷役能力の変化によって変動するがバース総数の変化には関係がありません。

しかし式(5)中の $(C_b I_b + C_s I_s)/T$ は、バース数の変化に支配されます。即ちバース N_b が在港船隻数 V_t に対して大きいほど、バースの遊休ロス $C_b I_b$ が大きくなり、船の沖待ちロス $C_s I_s$ は小さくなります。従って $(C_b I_b + C_s I_s)$ が最少になるとき、貨物単位当りコスト C_t も最少になるものと考えられます。これを満足させるようなバース数 N_b が、その港の最適投資基準ということになります。

3 計算例

このような考え方で神戸港について実験して見ましょう。次表は昭和40年の3月から8月までの在港隻数の分布です。在港隻数はバースに着いているものと沖待船の合計です。度数は実績を移動平均したものを千分比で示しています。

第 2 表 船舶在港隻数の度数分布

(40年3~8月)

在港隻数 V_i	度数 f_i	在港隻数 V_i	度数 f_i	在港隻数 V_i	度数 f_i
~ 30	—	51 ~ 55	184	76 ~ 80	51
31 ~ 35	6	56 ~ 60	206	81 ~ 85	39
36 ~ 40	22	61 ~ 65	142	86 ~ 90	21
41 ~ 45	55	66 ~ 70	91	91 ~ 95	6
46 ~ 50	111	71 ~ 75	66	96 ~	—

(注) 平均 $V_m=60$ 隻

標準偏差 $\sigma=11.5$ 隻

変異係数 $\sigma/V_m=0.19$

日々の在港隻数を V_i とすると、それはその日のバースの必要数です。バ

ースの保有数を N_b とすると

$V_i < N_b$ の日は $N_b - V_i = I_b$ だけ遊休バースとなります。

$V_i > N_b$ の日は $V_i - N_b = I_s$ だけ沖待ち船となります。

そこで V_i に対応する度数を f_i 、バースの単位供給コストを C_b 、本船の単位運航コストを C_s とすれば、バースの遊休ロス $C_b I_b$ と本船の沖待ちロス $C_s I_s$ はそれぞれ次のようになります。

$$C_b I_b = C_b \sum f_i (N_b - V_i), (V_i < N_b)$$

$$C_s I_s = C_s \sum f_i (V_i - N_b), (V_i > N_b)$$

この I_b 、 I_s は N_b の変化に対応して動くことはさきに述べた通りです。

表 2 からこれを計算すると次表のようになります。表の計算値 I_b' 、 I_s' は、実測値から誘導した実験式 (注記) によるものです。

次の計算では、 N_b を t で示しています。後の利用を便にするためで、 t は在港船平均隻数 V_m からのバース数 N_b の位置を表わすもので、標準偏差 σ を単位としています。即ち

$$t = (N_b - V_m) / \sigma$$

ですから、費用が最少となる点を投資基準 P とすれば

$$P = V_m + t\sigma \dots\dots\dots (6)$$

第 3 表 計 算 表

t_i	I'_b	I'_s	$C_b I'_b$ (百万円)	$C_s I'_s$ (百万円)	$C_b I'_b + C_s I'_s$ (百万円)
1.0	4,865	1,327	45	292	337
1.5	6,966	617	64	136	200
1.6	7,387	497	68	109	177
1.7	7,807	399	72	88	160
1.8	8,227	312	75	69	144
1.9	8,647	236	79	52	131
2.0	9,067	181	83	40	123
2.1	9,488	118	87	26	113
2.2	9,908	77	91	15	106
2.3	10,328	47	95	10	105
2.4	10,748	28	99	6	105
2.5	11,168	21	103	5	108
2.6	11,588	24	106	5	111
2.7	12,008	39	110	8	118

(注) (1) I'_b , I'_s は、 t_i に対応する $\Sigma f_i (N_b - V_i)$ でその数値は次の実験式で計算した。

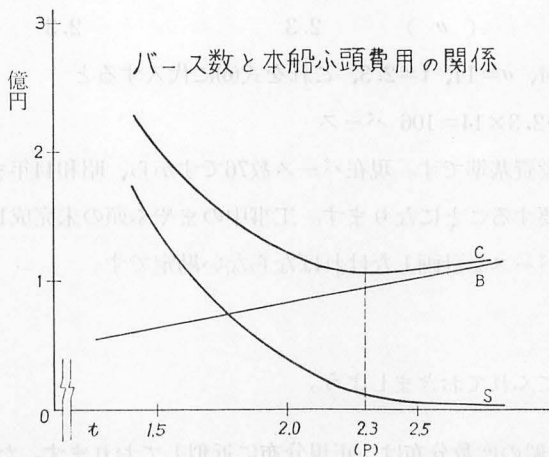
$I'_b = 663 + 420.2 t'$ (t' は1.5 t をOとし、 $t' = 2t$ で計算)

$I'_s = 354 - 871 t' + 568 t'^2$ (t' は1.75 t をOとし、 $t' = t$ で計算)

(2) C_b はバース単位当たりコストで9,200 円

C_s は本船単位当たりコストで22,000円

として計算。



となります。

計算では昭和40年の費用最少点は2.3t となります。昭和40年3～8月の在港平均隻数 $V_m=60$ 隻、標準偏差 $\sigma=11.5$ 隻ですから、最適バース数は、式(6)から

$$60+2.3 \times 11.5 \div 86 \text{ (バース) となります。}$$

この指標を使って昭和44年の最適規模を推定して見ましょう。データーは次表の通りとします。

	39年実績	44年推定
外貨貨物取扱量	15,800千トン	23,556千トン
内、公共バース分	12.330 " (78%)	18,472 "
同上一隻当り積卸量	1,930トン	1,950トン
船舶入港隻数(公共バース分)	6,392隻	9,472隻
同一日平均 (40年)	20.8"	25.4"
在港日数平均 (")	2.9日	2.9日
在港隻数平均 V_m (")	60隻	74隻
同標準偏差 σ (")	11.5"	14"
同変異係数 (")	0.19	0.19
費用最少点 t (")	2.3	2.3

即ち $V_m=74$ 、 $\sigma=14$ 、 $t=2.3$ 、これを式(6)に代入すると

$$P=74+2.3 \times 14=106 \text{ バース}$$

これが最適投資基準です。現在バース数76ですから、昭和44年までに30バースの増設を要することになります。工事中のまやふ頭の未完成13、8突2の外になお15バースを計画しなければならない勘定です。

4 問題点

若干の問題にふれておきましょう。

- i 表2の在港船の度数分布は、正規分布に近似しております。ただ平均 V_m

が若干右にずれています。このカタヨリを修正すれば正規分布数表を使って測定できます。

- ii バース供給コストが相対的に高くなれば最適点は小さくなります。神戸港のふ頭の新旧を比較すると次表の通りです。将来の増設計画には増設時の総平均コストを再計算する必要があります。また、国庫負担の仕組みが変れば、供給コストも勿論変化します。国庫負担を入れて考えるのが適当かどうか、また、ここでの仕方のように、総平均費用でなく、増加分の限界費用によるのが適当であるのか問題ですが、後日に譲り度いと思います。

第 4 表 ふ 頭 供 給 コ ス ト

(神戸港)

	新 港 ふ 頭	摩 耶 ふ 頭	合 計
	千円	千円	千円
管 理 費	26,820	15,810	42,630
施 設 保 繕 費	27,510	17,750	45,260
公 債 利 子	20,170 (219,810)	211,980 (176,520)	232,150 (396,330)
減 価 償 却 費	74,440	45,850	120,290
	(294,310)	(422,060)	(716,370)
計	148,940	291,390	440,330
バ ー ス 数	30 (27)	18 (64)	48 (41)
1 バース 1 日 当 り	14	44	25

(注) () は、国庫負担金を控除しないもの。

- iii 本船運航コストが変化すれば、バース最適基準も変ります。船型船齢によるコストは、聞き取り調査では次のように報告されています。今後船舶の高速化と船価の動向を考慮する必要があります。

	定期船		不定期型	
船型 (T/D)	11,500	10,000	15,300	11,400
速力 (ノット)	18	15	14	13.5
船齢 (年)	5	10	5	10
運航費 (トン/日)	\$ 5.10	\$ 4.50	\$ 3.10	\$ 3.50

- iv 在港隻数の度数分布は、海運業者の船舶運航合理化によってバラツキが

小さくなることが期待されます。バラツキが小さくなれば最適基準点は小さくなります。

- v 在港隻数は、入港推定隻数と平均滞港日数によってきまりますが、前者は一船当りの揚積トン数の増加によって減ってきます。昭和36年と39年を比べてもかなり変わっています。これに関連して、最近の海運合理化の現われとして貨物別の専用船化と不定期船化の傾向が見られます。安定した不定期貨物は海運経営を有利にします。又定期船においても計画集荷と計画配船による寄港地の整理等と関連して揚積トン数が増加しつつあるようです。

第 5 表 定期船不定期船ど一隻当り揚積量の推移 (神戸港)

	36 年			39 年		
	荷 役 船 隻数	荷 役 量 千トン	同 1 隻当り	荷 役 船 隻数	荷 役 量 千トン	同 1 隻当り
定 期 船	5,712	8,622	1,510	5,811	9,384	1,600
不 定 期 船	933	4,472	4,800	1,248	6,358	5,100
計	6,645	13,096	1,970	7,059	15,742	2,230
(比 率)						
定 期 船	86	66		82	59	
不 定 期 船	14	34		18	41	
計	100	100		100	100	

- vi 滞港日数はバースの増加によって沖待ちの減少分だけ短縮されます。又海運合理化は回転率を問題にしています。滞港日数の合理化はその重要なテーマと言えましょう。このような合理化の効果も将来の測定には欠かさない要素と云えましょう。

- vii なおさらに、式(5)の取扱貨物単位当りコストの

$$C_t = \frac{O}{T} (C_b + C_s) + \frac{1}{T} (C_b I_b + C_s I_s)$$

のうち (頁参照)

$$\frac{O}{T} (C_b + C_s) = \frac{1}{T_d} (C_b + C_s)$$

但し N_b = ベース数

D = 1 ベースの平均使用日数

T_d = 1 ベース 1 日の荷役能力

となり、 $\frac{O}{T}(C_b + C_s)$ は、ベースの荷役能力が一定ならば、費用 C の変化に影響しないので、これを計算から外しました。しかし、ふ頭の機械装備の強化によってその荷役能力 T_d が大きくなると、本船速発効果によってベースの必要数は小さくなります。この関係は港湾投資額の施設別配分の問題として別のテーマで計算しなければなりません。その結果、ここで計算した最適ベース数も又変わってきます。

むすび

投資最適基準の考え方は学術的には常識と言えましょう。しかし日本における港湾経営の実際はそのことを必要とする段階に至っていないのが実情です。しかし、「曲り角」に立つ今日の港湾の課題は、港湾審議会の答中に云う「企業ベース」に基づいた新しい経営原理を確立することにあると云えましょう。本稿の試みも、この意味での実務者の自習メモに過ぎません。専門家の叱正を切望する次第です。(40.11. 5)

参考文献

- 1 ロッチデール報告
- 2 港湾審議会「港湾管理者の財政基盤の強化及び港湾施設の効率的使用の確保のため緊急に実施すべき方策に関する答申」(40.10.11)
- 3 運輸省港湾局「港湾管理の現況と問題点」
- 4 「長期経済計画における港湾投資額の推計」加納治郎氏(港湾経済研究 No. 2)
- 5 港湾経済学会「港湾の経済効果に関する調査報告Ⅱ」