

IV-13 段階的港湾投資計画に関する基礎的研究

京都大学	正 員	長尾 義三
建設省	正 員	○高田 邦孝
大阪市	正 員	箕田 幹

1. まえがき

近年種々の理由により、段階的建設⁽¹⁾という考えが可成り一般化してきているように思われる。しかしながら、一般的には単に次に述べるような形態での段階的建設しか考えられていない。すなわち、個々の代替案自体の逐次拡大発展という形態での段階建設しか考えられていない。本研究では、段階的建設の意味をさらに拡大した形態においてとらえる。すなわち、相互依存的な代替案の集合において、全体の適合性を考慮しつつ如何なるプログラムに従って遂行していくべきかを検討する態度として段階的建設という言葉をとらえ直してみる。換言するならば、最終的に採択される開発形態によつて、段階的、一括的を区別するのではなくして、代替案の列举において、よりシステマティックに代替案を列举し、積極的に新なる代替案を差出人とする態度で計画策定を行なうことに他ならない。このような考えを、また計画策定に対するアプローチはPPBアプローチ⁽²⁾と同じ思想を背景とするもののように思われる。

本研究では、上記の考えを即した数学モデルとして多段階決定モデルを提案する。また同時に簡単なケース・スタディを通じて、多段階決定モデルの限界点を明確にし、その限界点の除去を如何にして合理的に行うかという問題に対する基本的アプローチを提案するものである。

2. 多段階決定モデルとそのケース・スタディ

社会資本としての港湾の捕ええ方も、種々の場合が考えられ、考え方のひとつを定式化を考えたほうがよい。本研究では最も単純と思われる次のような場合を想定した。港湾整備に対する要請が“臨港打開に対する要請”という形で生じた場合を想定するものとする。この故に最適ということに次のように考えられる。国民経済的見地より港湾投資による費(プロジェクト費用と付帯費用の和)が最小であるような状態を最適と考える。

2-1 多段階決定モデル⁽³⁾

$$F_N = \min_{\{S_N\}} [f_N(S_N)]$$

$$f_N(S_N) = \min_{\{S_{N-1}\}} [a^{N-1} \cdot C(a_N(S_N, S_{N-1})) + a^N \cdot r_1(S_N) + a^N \cdot r_2(S_N, D_N) + f_{N-1}(S_{N-1})]$$

F_N : N 段階問題に対し最適政策を用いた最良の総現在価値

$f_N(S_N)$: N 段階問題において、 N 段階の状態が S_N である場合の最適政策による総現在価値

D_N : 第 N 段階における需要量 S_N : 第 N 段階における施設規模

a_N : 第 N 段階における追加施設規模 a^N : 第 N 段階における現価係数

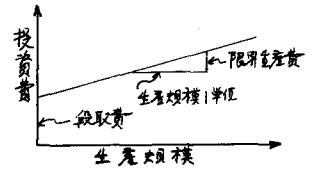
$C(a)$: 施設規模を a だけ追加するに要する費用

$r_1(S)$: 施設規模が S である場合の維持費

$f_2(S, D)$: 施設規模が S で需要量が D である場合の付帯費用

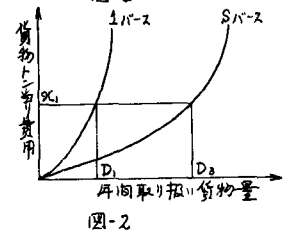
2-2 ケース・スタディ

ケース・スタディ を行い、投資費用を施設費と限界生産費に区別し、段階的建設による工事の手戻りによる損失等を考慮しつつ単純化した。付帯費用算定モデル及び各種パラメータについては参考文献(4)による。本研究では施設を一体として利用することの利点を考慮し、かつ付帯費用計算上の便宜をはかるため、一体利用効果係数とも呼ぶべき概念の導入を行った。一体利用効果係数とは図-2において説明すると、一体利用効果係数 $= D_3 / (D_1 \cdot S)$ として表わされる。すなわち、 S バース一体利用を考えた場合と、 S バース単独で考えた場合同一費用水準 α_1 (円) では前者が D_3 の貨物を取り扱うのに対し、後者は $3 \cdot D_1$ の貨物量しか取り扱い得ないことになる。故に D_3 と $3 \cdot D_1$ との比によって有効性の増加割合を見出すことができる。

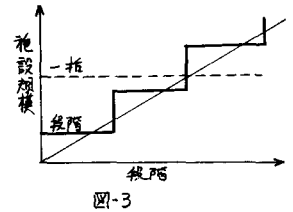


2-3 結果の考察

段階的建設と一括建設では、図-3のようき需要の伸びに対し施設の規模の対応が異なる。すなわち段階的建設は短いサイクルの繰り返しにより需要に対応してゆこうとする考え方のものであるのに対し、一括建設は長いサイクルに対応してゆこうとするものである。ゆえに一括建設のみを考えるとプロジェクトの比較選択を行うことは、やや無理な非序に至りかねない形でプロジェクトを評価してしまふ恐れがある。



段階建設を考えた場合、割引率のプロジェクト選択に及ぼす比重が一括建設の場合に比して軽い。すなわち一括建設では割引率の変化に対しその最適施設規模が大きく変化するのに対し、段階的建設においてはその最終の施設規模の水準に大きな変化がみられなかった。



従来の最適能力法による、頭規模決定モデル⁽⁵⁾による施設規模は、本研究で提案したモデルによる最終の施設規模と殆んど同じであった。ただしプロジェクト全体に要する費用は、当然のことながら前者の方が可成り割高になる。このことより従来の方法によりプロジェクトが評価され、他のプロジェクトと比較されるのでは、該当プロジェクトが歪められて評価されてしまっていることになる。また最適能力法では予めプロジェクト・ライフを設定しておく必要があるという大きな問題が存在する。特に港湾施設のように適当な維持・補修を行うことにより、その寿命(物理的寿命)が無限と考え得る程のものに対し、適切なプロジェクト・ライフを与えることは非常に困難である。またこの方法では最終の施設規模達成へのプロセスが含まれていない等欠点が見られる。それに対し本研究で提案したモデルは、このような不明確な概念を除去できる点が見られると考えることができる。

3. 計画可視限界

本研究で提案した多段階決定モデルの最大の特徴は、代替案を非常にシステマチックに取り出し得るということである。そしてこの特徴は、他の施設との整合性を考えた上での投資問題を考えたよりな場合により威力を奏するものである。しかし現実問題としては、次元が多くなつた場合理論的には説明し得ても、実行可能性は大きく減殺せざるを得ない。ここに多段階モデルの最大の欠陥を思い出

し得る。そこで計画可視限界なる概念の導入により次元の減少を計る必要がある。

計画可視限界とは、 i 段階問題に対する最適政策が、任意の j ($j > i$) 段階問題に対する最適政策の一部を構成している場合、 i 段階までは厳密に最適化することから得る。このより各段階を計画可視限界と呼ぶことにする。もう少し具体的に説明すると次のようなことを意味している。第1段階問題に対する最適政策はルート $O-A-A_1$ で表わされる。以下図4に示すように第2段階問題に対する最適政策はルート $O-A-A_1-A_2$ で表わされ、第3段階問題に対しては $O-A-A_1-B_1-B_2$ 、第4段階問題に対しては $O-A-A_1-C_1-C_2$ で表わされているものとする。以上のように計画対象段階の変化に伴って最適政策ルートが変化する場合を差えてみる。ここに次のことを見出し得る。

第1段階問題に対する最適政策ルートは、計画対象段階を変化させても最適政策ルートからはずれることがない。それに対し第2段階問題に対する最適政策ルートは、第3段階問題を考えた場合の最適政策ルートからはずれている。もし現在の傾向が常々維持される。すなわち第1段階問題に対する最適政策によるルートが常々より長い段階を考えた場合の最適政策ルートからはずれることがないならば、第1段階問題は全く単独に取り扱い得ることになる。このような性質を有する段階を計画可視限界と呼ぶ。

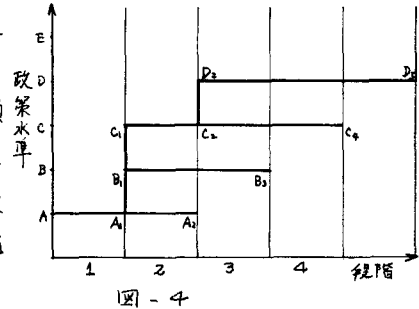


図-4

計画可視限界の存在性に関する考察を簡単に述べてみると以下のようになる。

- D_i : 第 i 段階の需要量 K_i : 第 i 段階の役取費
 - C_i : 第 i 段階の限界生産費 M_i : 第 i 段階の維持費
 - $r_i(S_i, D_i)$: 第 i 段階におけるシステムの状態を S_i とした場合の付帯費用
 - $l(t)$: 第 t 段階問題における最適最終追加建設段階
 - $F(t)$: 第 t 段階問題に対する最適政策による費用
 - $F(l, t)$: 第 t 段階問題において最終追加建設を l 段階で行う、 t 場合の最適政策による費用
 - $p^*(l, t)$: 第 t 段階問題において最終追加建設を l 段階で行った場合の最適決定
 - $S^*(l-1, l-1)$: $l-1$ 段階問題に対する最適政策による $l-1$ 段階のシステムの状態
- $$F(l, t) = F(l-1) + C_l \times p^*(l, t) + K_l + \sum_{i=1}^l r_i(S^*(l-1, l-1) + p^*(l, t), D_i) + \sum_{i=2}^l M_i \times \{S^*(l-1, l-1) + p^*(l, t)\}$$
- $$F(t) = F(l(t), t) = \min_{l \in L} [F(l, t)]$$

計画可視限界が存在するためには、上式が満足される必要がある。この上式の意味すること、図5で説明すると次のようになる。図5-1において第3段階問題に対する最適最終追加建設段階は第2段階である。しかし第2段階は上式を満足しない。すなわち $2-1=1$ 段階問題を対象とした場合の最適政策による達成目標水準は A であり、連続性を有していることがあり、第1段階は計画可視限界となるための条件を述べてい

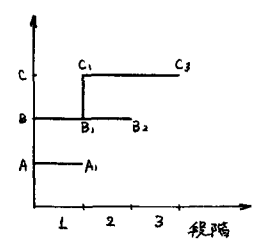


図5-1

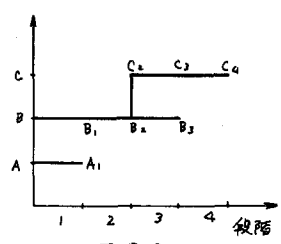


図5-2

ないこととなる。図52において第4段階問題を考えた場合、最適最終追加建設段階は第3段階である。そして $3-1=2$ 段階問題に対する最適政策による達成目標水準はBであり、第4段階問題と連続性を有していることとなり、第2段階は計画可視限界となるためのオの条件を満していることとなる。この条件を満足する問題に対しては、次のような手順を踏むことにより計画可視限界を求めることが可能と思われる。

$$A_{j,t} = C_j + \sum_{i=j}^T \left[r \{ (S^*(j-1, i-1) + 1), D_i \} - r \{ (S^*(j-1, i-1)), D_i \} + M_i \right]$$

$A_{j,t}$ は j 段階に1単位増設した場合、 t 段階まで発生する追加費用を表わすものである。さうに $A_{t_1, t_2} > A_{t_2, t_2}$ を満たす t の集合を $m(t_1, t_2)$ とする。 $j \in \{1, 2, \dots, T\}$ なる j に対し $A_{j,t}$ を最小とする j を $m(t)$ とする。

- (1) $j \in m(t-1, t)$ を列挙する。
- (2) $m(t)$ を求める。
- (3) t 段階問題に対する最適政策を見出し、最適最終追加建設段階 $l(t)$ を見出す。
- (4) 最適最終追加建設段階 $l(t)$ が $m(t)$ と一致するか否かを検討する。

上記の手続きにより、 $l(t)$ が $m(t)$ と一致した場合 $m(t)-1$ 段階が計画可視限界となる。

このプロセスの証明は省略し、その概念を概略説明すると次のようなことを意味している。 $m(t)$ は第 t 段階までを考えた場合、1単位追加建設したことによる第 t 段階まで発生する追加費用が最小となる段階を意味している。ゆえに $m(t)$ が最適最終追加建設段階となり得る場合というのは、 $m(t)$ 段階まで追加建設を延期したことによる $m(t)$ 段階までの不利益が大まにというものである。すなわち $m(t)$ よりも早期に建設しなす方が有利であるという場合に限られていることとなる。さうして、(4) のプロセスにより最適最終追加建設段階が $m(t)$ と一致するということは、 $m(t)$ 段階以前に追加建設しなすことにより失われる損失が問題にならなすことを意味している。ゆえに t 段階よりも先まで考えた場合 $m(t)$ 段階以前に増設することはあり得ず、 $m(t)$ 段階又はそれよりも先の段階で増設が行なわれ、 $m(t)-1$ 段階までは変化を受けないことになりと考えられる。

4. 今後の課題点

本研究で提案する多段階モデルは、概念的には非常にシステマチックで明快であり、他の施設に対する投資との相応性を考慮した投資問題に対しては概念的には容易に拡張し得る。このよう有利性の中核に利用するため、次元の減少等を通じて実行可能性に対し大いに検討を行って行く必要がある。そのためのノックで計画可視限界なるものの存在に關し検討を加えたものであるが、まだまだ一般論と全てにあてはまるものではなく今後検討を進める必要がある。

参考文献

- (1) K.E. Sorrensen & R.D. Jackson "Economic Planning For Staged Development", Proc. of ASCE H.Y. Vol 94, No 5
- (2) 宮川公男, "PPBSの原理と分析" 有斐閣 昭和44年
- (3) 京都大学起終点施設学研究室 "小頭標準能力調査報告書" 昭和43年
- (4) R.E. Bellman, "Dynamic Programming", Princeton University Press, 1957年
- (5) G.D. Eppen, "Extensions of The Planning Horizon Theorem in The Dynamic Lot Size Model", M.S., Vol 15, No 5