

日本コン 正員 ○清水 丞
鳥取大学 正員 岡田 晃夫

1. 研究の背景と目的

近年、わが国における水資源開発事業は、利根川・荒川、淀川等の水系の水資源開発計画にみられるように広域かつ大規模化の傾向にある。このような大規模な水資源開発事業は、①プロジェクトの開始から供用まで要する期間(いわゆるリードタイム)の長大化、②リードタイムの長大化に伴う不確実性現象発生可能性の増大などプロジェクト立案及び実施の際に無視できないような問題をもちこんでいる。

このような背景から、筆者らはこれまで主として上記の①、②の問題点を考慮した上で不確実性下における大規模水資源開発プロジェクトに関する意思決定問題のモデル化を試み¹⁾てきた。この種の意思決定問題における決定要因は、主に①の不確実性現象の発生確率、②リードタイム、③拡張規模、④プロジェクト費用、⑤時期(プロジェクトの開始時期、供用時期、救済時期など)などがある。しかしながら、そのうち①の不確実性現象の発生確率は制御不可能な要因であり、人為的にどうすることもできない。これに対して②、③、④、⑤の各要因は制御可能である。つまり、この種の不確実性下における意思決定問題では人為的に制御可能な要因をいかに操作して不確実性現象発生に対する被害・影響を最小限に止めるかが重要な課題になると考えられる。このような観点から上述の決定要因のうち、制御可能な②、③、④の決定要因を固定した上で⑤の時期(プロジェクトの開始(供用)時期、救済時期)を不確実現象の発生可能性の大小によりどのように意思決定すべきかを検討したのが筆者らの過去の研究である¹⁾。

そこで、本研究では筆者らの過去の研究成果をふまえて、上述の決定要因のうち②のリードタイムに着目し、このリードタイムが不確実性下における大規模プロジェクトに関する意思決定にどのような効果・影響を及ぼすかについて検討する。

2. モデルの定式化

本研究でのリードタイムに関する影響分析には、筆者らが以前に開発した「事前分析モデル(基本モデル)」を利用する。事前分析モデルは水需要が時間とともに増大する11ターンからなる時点で突然、その伸びが止まる以降、横直い状態を続ける11ターンに移り変わる現象(構造変化、図-1参照)が起こりうることを前提とした上で、大規模水資源プロジェクトの開始時期決定問題を取り上げる。その定式化にあたっては、リードタイムの機能・制約を組み合わせることによりプロジェクトが開始されたからリードタイム分の時間が経過して初めて水が実際に稼働することを想定している。すなわち、プロジェクト稼働に関する評価基準を期待便益の形で定式化している。

評価基準(全期待便益: $TB(\tau, L) \rightarrow$ 最大化)

$$\text{Maximize } TB(\tau, L) = E_1(\tau, L) + E_2(\tau, L) + E_3(\tau) + E_4(\tau, L) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ここで } E_1(\tau, L) &= \int_0^{\tau-L} \left\{ \int_0^{\tau-L-u} B_0(u) e^{-\rho u} du + B_0(\tau) \int_{\tau-L-u}^{\tau-L} e^{-\rho u} du \right\} \lambda e^{-\lambda \tau} d\tau && \text{[プロジェクト開始前に構造変化が起こった場合の期待便益]} \\ E_2(\tau, L) &= \int_{\tau-L}^{\tau} \left\{ \int_0^{\tau-L-u} B_0(u) e^{-\rho u} du + B_0(\tau) \int_{\tau-L-u}^{\tau-L} e^{-\rho u} du + B_1(\tau) \int_{\tau-L}^{\tau} e^{-\rho u} du \right\} \cdot \lambda e^{-\lambda \tau} d\tau && \text{[プロジェクト実行中に構造変化が起こった場合の期待便益]} \\ E_3(\tau) &= \int_{\tau}^{\infty} \left\{ \int_0^{\tau-L} B_0(u) e^{-\rho u} du + \int_{\tau-L}^{\tau} B_1(u) e^{-\rho u} du + B_1(\tau) \int_{\tau}^{\infty} e^{-\rho u} du \right\} \cdot \lambda e^{-\lambda \tau} d\tau && \text{[プロジェクト供用後に構造変化が起こった場合の期待便益]} \\ E_4(\tau, L) &= -C(L) e^{-\rho \tau} \int_{\tau-L}^{\tau} \lambda e^{-\lambda \tau} d\tau && \text{[期待プロジェクト費用]} \end{aligned}$$

なお、 $C(L)$ はプロジェクト費用であるが、リードタイムの変動がプロジェクト費用に直接的な変動を与えると考えられるので、ここではプロジェクト費用はリードタイムの関数形として表わしている(表-1、図-2参照)。ここでプロジェクト供用時期で*とリードタイム*の最適値を求めるため(1)式をそれぞれ τ と L について偏微分してこれを零とおいた式をプロジェクト費用 $C(L)$ について整理すると次のような最適条件式が求まる。

プロジェクト供用時期で*に関する最適条件式

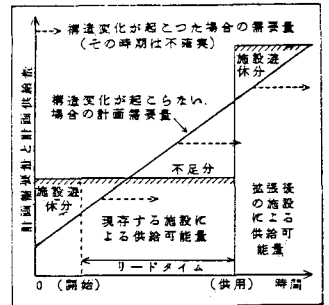


図-1 計画需要量と需要発生構造変化

$$(\lambda + r)C(L^*) = e^{-\lambda \tau^*} [B_1(\tau^*) - B_0(\tau^*)] + \lambda \int_0^{\tau^*} [B_1(\tau^* - L^* + \tau) - B_0(\tau^* - L^* + \tau)] e^{-\lambda \tau} d\tau + (\frac{r}{\lambda}) [B_1(\tau^* - L^*) - B_0(\tau^* - L^*)] \quad (2)$$

リードタイム L^* に関する最適条件式

$$\lambda C(L^*) + C'(L^*) = (\frac{r}{\lambda}) [B_1(\tau^* - L^*) - B_0(\tau^* - L^*)] \quad (3)$$

3. 分析結果の考察

3.1 プロジェクト費用関数 — 本研究ではプロジェクト費用をリードタイムの関数形として表わして

いるが、一般にリードタイムを短縮すればプロジェクト費用は高くなると考えられる。しかしながら、あまり長くしすぎるとプロジェクト費用は高くなると考えられる。したがってプロジェクト費用関数の形はリードタイムが小さい場合は、単調減小し、あるリードタイム (L) の長さを越えると単調増加となる凸凹の関数形を表現することとする。そこで本研究ではプロジェクト費用関数を図-2に示すような3つのケースを設定した。

3.2 分析結果の考察 — 分析に当っては表-2に示すようなデータおよび便宜

関数形を用いて各ケースについて臨界ペナルティ値を計算した。その結果、図-3、4、5に示すようなQ-P曲線図を得た。(図上として値をハラスタとする曲線の交点)が L^* と τ^* に相当する。これらのQ-P曲線図の特徴は、構造変化の発生確率と実際のペナルティ費用とによって現行のプロジェクトの使用時期 τ^* とリードタイム L^* を意決定できるとある。結果的にはプロジェクトの開始時期で τ^* も決定できる。ケース別に比較をするとケースIIはプロジェクト費用関数の最小値が $L=15$ 年の場合であるが、この場合は構造変化の発生確率と実際のペナルティ値の値によって、現時点開始では手遅れの状態も起こりうるとを示している。またリードタイムがさらに長いケースIIIではその傾向がさらに強まっている。すなわちリードタイム (L) が短いケースIでは現時点でのプロジェクト開始が手遅れの状況が存在せず、リードタイムに限り11年というふうには決定されてしまう。以上のことより、不確実性下における大規模プロジェクトのリードタイムは適度に短い方が望ましいことがわかる。以上は本分析の一例ではあるが、不確実性下の大規模プロジェクトにおけるリードタイムの重要性と本分析モデルの有用性について検討できたと考える。以下詳細は講義時に譲る。

(参考文献) ① 岡田憲夫、清水丞：不確実性下における大規模水資源開発プロジェクトの逐次繰返し型意決定方式に関する研究、第6回土木計画学研究会発表会講演集(査読付論文編) p.211-218 1984年1月

表-1 記号の説明

v	ある任意の時点 ($v \geq 0$)
t	構造変化の起こる時点 ($t \geq 0$)
$B_0(v)$	プロジェクトが供用されていない時点 v にける損失 (v の関数)
$B_1(v)$	プロジェクトが供用された後の時点 v にける損失 (v の関数)
r	時間割引率
$e^{-\lambda \tau}$	時点 v にける時間割引係数
$\lambda e^{-\lambda t}$	構造変化の発生に関する確率密度関数
L	リードタイム
$C(L)$	プロジェクト費用(リードタイムの関数)
τ	プロジェクト開始時期
τ^*	プロジェクト使用時期
τ_0	現時点より以前の全観測期間内で水需要が満たなくなった時点

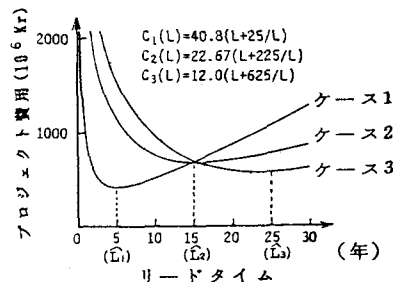


図-2 リードタイムとプロジェクト費用の関係

表-2 パラメータ値の設定

q : (遅延ペナルティ/不足ペナルティ) 比	0.1
r : 時間割引率	0.06
L : リードタイム	15(年)
Z_0 : 基本有効容量	20(無次元化)
Z_1 : 拡張有効容量	192(無次元化)
D : 1年当りの需要増加量	4(1/年)
C : プロジェクト費用	580(10^6kr)
λ : 1年当りの構造変化の発生頻度の平均値	$\lambda = \frac{1}{1-q}$
Q : 構造変化が当該年からその直前の1年間に起こる確率	
(便宜関数)	
$B_0(v) = -P_{max}(0, D \cdot v - Z_0) + D \cdot P_{min}(0, D \cdot v - Z_0)$	
$B_1(v) = -P_{max}(0, D \cdot v - Z_1) + D \cdot P_{min}(0, D \cdot v - Z_1)$	

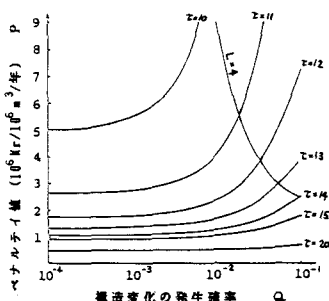


図-3 リードタイム (L) と供用時期 (τ) をパラメータとしたQ-P曲線 (ケースI)

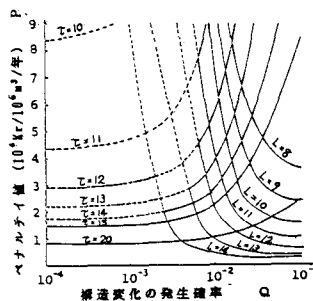


図-4 リードタイム (L) と供用時期 (τ) をパラメータとしたQ-P曲線 (ケースII)

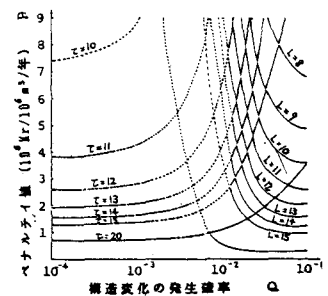


図-5 リードタイム (L) と供用時期 (τ) をパラメータとしたQ-P曲線 (ケースIII)