

# 公共事業の投資タイミングについて：食べ頃と賞味期限の比喩

上田孝行  
UEDA, Takayuki

工博 東京工業大学理 工学研究科助教授

Ma. Sheila A. Gaabucayan

東京工業大学情報環境学研究科博士課程

森杉壽芳  
MORISUGI, Hisayoshi

工博 東北大学情報科学研究科教授

## 1 はじめに

計画当初の進行予定の通りには実施されず、遅延している公共事業が多数指摘されている。また、当初予想されただけの需要が発生しないため、財務的あるいは経済的な効率性が疑問視されている事業が多数挙げられている。近年では様々な機関・団体によってそのような事業の中止・休止が提案/勧告され、いくつかについては中央政府/地方自治体が既にその決定を行っている。しかし、それらの議論を見ていると、遅延しているから中止すべし、あるいは当初ほどの需要が見込めないから休止すべしといった極めて短絡的な結論がしばしば受けられる。従って、第一に、それらの議論で厳密な経済計算に基づく判断がどの程度まで徹底されているのかについて疑念を抱かざるを得ない。第二に、このような状況が生じている背景には、それらの事業においては事前の意味で需要の時間的な変化に対応し得る最適な進行計画が立案されてこなかったこと指摘できる。そのため、事中における短絡的な中止・休止の判断が再び不適切な決定になっている危険性を払拭できない。

一方、遅延を問題視する立場から、森地・中山・福田・堤(2001)、中山・福田・森地(2000)は既に実施された交通整備事業について、当初の進行計画と想定した経済環境のもとでの社会的便益/費用のキャッシュフローと、実際に実現した進行状況と経済環境のもとでのそれを事後的に比較している。その純現在価値の差をもって事業遅延の経済損失であるとして、事業遅延の重大さを示そうとしている。しかし、この尺度は本来的に正にも負にもなり得るものであることは明らか(Ueda and Tamaki(2001)を参照)であり、遅延損失の定義として十分ではない。なぜなら、第一に、事後の時点において既に実現した進行と経済環境を見てキャッシュフローを算出しとしても、事前においてある代表的な経済環境を想

定して算出したものとは一致しないのは自明なほどに一般的である。従って、事前の計画において用いられたりスクに関する情報や意思決定の論理性が全く斟酌されないという意味で適切ではない。第二に、仮にリスクのない確定的な世界で考えても、当初の進行計画が純現在価値を最大にするという意味で最適かどうかが確認されていない点で適切でない。例えば、当初の進行計画が平成10年開業を予定していたとする。しかし、事前の意味において最適な開業は平成16年であったとする。実際に開業したのが16年であれば、当初計画の10年よりは遅れてはいても遅延損失はないことになる。また、仮に実際には13年に開業したのであるとすれば、実は遅延による損失が発生しているのではなく、過早とでも呼ぶべき、開業が早過ぎてしまったことによる損失が発生していることになる。

以上のように、政策決定の実際的な場面において、事業の進行計画を、特に需要トレンドとの関係から、最適に設定しなければならないことは明らかである。また、それ無しには事業遅延の損失を正しく計量的に示すことはできない。

本稿では、事業の進行計画を大胆に単純化して、建設投資をどの時点で行うかという選択問題として捉えて、最適タイミングの性質について紹介する。結論を先取りして言えば、事業の実施には最適なタイミングがあり、それよりも早く実施することも損失をもたらすこと、そして、その損失は場合によっては遅延よりも深刻であることを示す。また、事業の実施が遅延したとしても、ある期限までは依然として事業は実施に値するがそれを過ぎると事業を破棄しなければならないという制限的な期間が存在することも示す。

なお、事業の進行が当初の計画と異なってしまうことから生じるプロジェクトの経済価値への影響には、供用時点が異なってしまうことの影響(遅延の場合はTime

Over-run)と建設期間が異なってしまうことに伴う建設費用の変化による影響(費用増大の場合はCost Over-run)が大きな2つの要素として一般に指摘される。しかし、本稿では後述するように大胆な単純化を行うため、形式上は前者の供用時点が異なることによる影響に焦点を当てる。後者の建設費用の変化については、Ueda, Sheila and Morisugi(2002)の付録に示されている建設期間中の費用を一時点に集約する手法を用いることで本稿と同様の枠組みの中で議論することが可能であるが、本稿ではそれをとり扱わない。

## 2 投資のタイミングと純現在価値の捉え方

本稿では、厳密な数理モデルを用いて議論するよりも、簡単な数値例で投資の最適タイミングを例示していきたい。基本的な枠組みは、Margin(1963)と森杉(1977)に拠っているが、解析的な議論はUeda, Sheila and Morisugi(2002)を参照されたい。

投資は時間軸上の一時点に行われ、そこで建設が瞬時に完了して同時に施設が開業するとする。これはもちろん、極端な単純化であるが、建設期間が数年に及ぶ事業も、ある前提条件のもとで、このような単純なケースに書き換えることができる。開業後には各年の純便益がある一定の変化率で変化していくとする。開業後に施設は無限期間にわたって供用された場合の純現在価値を考える。ただし、無限に供用されるというこの想定は、ある程度の大きさの社会的割引率を採用して30年から40年以上の期間を設定した場合には無限期間で考えることが十分な近似を与えるという性質に基づいている。

現時点( $t = 0$ )での純現在価値は投資の行われる時点(タイミング) $T$ の関数として次のように表される。

$$V(T) = -I \exp(-\rho T) + \frac{\bar{b} - \bar{c}}{\rho - \omega} \exp\{(\omega - \rho)T\} \quad (1)$$

ここで、 $V(T)$ : 純現在価値、 $I$ : 建設投資額、 $\rho$ : 社会的割引率、 $\bar{b} - \bar{c}$ : 年当たり純便益の初期値、 $\omega$ : 年当たり純便益の変化率、である。

年当たり純便益の変化率は、次のような意味を持っている。単位需要あたりの一般化費用の節減やサービスレベルの向上が一定であり、また、運営費用が必要量に比例的であると近似できるなら、社会的純便益は総需要量に比例するとみなせる。総需要の変化率は、将来の人口や経済の成長と連動しているため、それらの成長率が純便益の変化率に相当すると考えられる。従って、純便益の変化率が負である場合は、地域経済が将来は縮小方向に向かうと予想されたり、人口減少が予想されている

ようなもとで計画されている事業であると解釈できる。

本稿では、あるいくつかの具体的な数値設定のもとで、純現在価値 $V(T)$ を投資タイミング $T$ の関数としてプロットして描いていく。

## 3 ケース1: 今やるか、永遠にやらないか

まず、年当たり純便益の変化率 $\omega$ がゼロである場合を描いてみる。すなわち、年当たり純便益が一定であるとしてみる。費用便益分析が簡便に適用される多くの場合においては、このような想定が見られる。従ってこのケースは、どのような事業においても一つの基準的な場合、あるいは他のケースに対する参照点としての意義を持つ。また、具体的な例としては、既に成熟した都市域で人口や経済活動が将来大きくは変動するとは考え難いような地域での事業も変化率がゼロとみなして良いケースであろう。既成市街地での公園整備や街路整備のような比較小規模な住環境整備などであれば、発生する純便益は将来のどの期においても一定と見なして差し支えなかろう。

図1は投資タイミングが遅くなるにつれて純現在価値が減少していく場合である。ただし、タイミングがどれだけ遅くなろうとも、純現在価値は正である。この場合は、最適な投資タイミングは $T = 0$ 、すなわち、今すぐである。

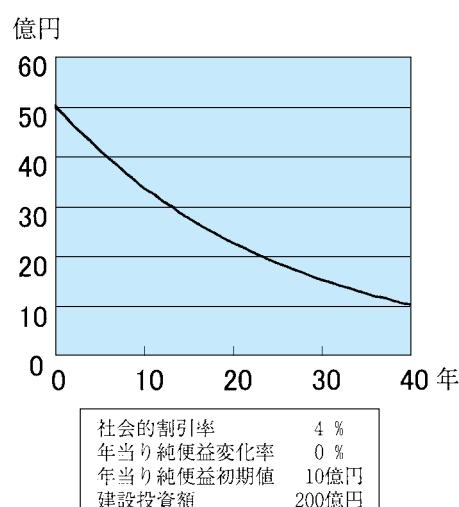
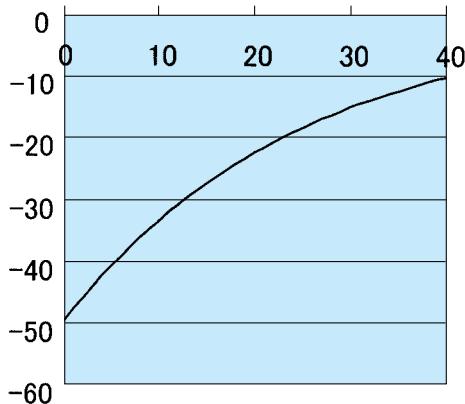


図1 ケース1: 純現在価値が正の場合

次に、図1のケースにおける建設投資額200億円を増加させて300億円に変更してみると、純現在価値は図2のようになる。図1の場合と同様に純現在価値は投資タイミングを遅らせるほど増加するものの、図1とは対照的に決して正にはならない。従って、この場合には事業は永遠に実行するに値しない。



億円

社会的割引率	4 %
年当り純便益変化率	0 %
年当り純便益初期値	10億円
建設投資額	300億円

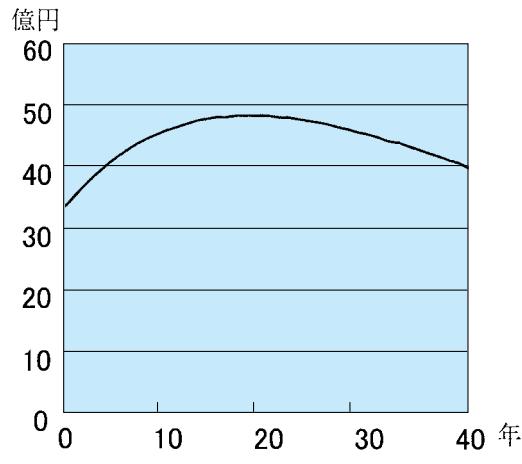
図 2 ケース1：純現在価値が負の場合

両方の図が示しているのは、年当り純便益が一定である場合には、今やる場合の純現在価値が正なら直ちに事業を実施するべきであり、そうでないなら、永遠に実施するべきではないということである。このような選択は“Now or Never”と呼ばれる。

#### 4 ケース2：しばらく待つべし

ここでは、年当り純便益が一定率で増加していく場合( $\omega > 0$ )を取上げてみる。順調な経済成長が期待できる場合や、依然として人口の増加が見込める場合などは総需要の増大を介して、年当り純便益も増加していくことが期待できよう。国民経済レベルでは、人口は減少傾向に転じることが確実になり、また、経済成長もこれまで経験したような高度成長は期待できないため、このようなケースがもつ重要度は低いと見る意見が多いかも知れない。しかし、地域レベルで見れば、依然として郊外部の住宅開発地域では将来の人口増加やそれに伴う商業系立地という形での経済発展は認められよう。そのような地域で鉄道新線や幹線道路を整備したり、あるいは商業中心を整備するなどといった事業であれば、ここでの純便益が将来にわたって増大していくというケースが実際に有り得ると考えられる。

図3は図2と同じ設定のもとで年当り純便益の変化率だけを1%に変更して描いたものである。純現在価値はタイミングが18年のところで最大値を示している。従って、この事業は今すぐに実施するのはなく、18年後まで待ってから実施することが最適であると言える。すなわち、この最適なタイミングよりも早い時期に投資すると、本来は得られる経済的価値を逸することになり、過早(早



社会的割引率	4 %
年当り純便益変化率	1 %
年当り純便益初期値	10億円
建設投資額	300億円

図 3 ケース2：純現在価値が必ず正である場合

すぎる)による社会的損失が発生すると言える。

次に、建設投資額をさらに増加させて350億円としてみると、図4のようになる。純現在価値を最大にする最適な投資タイミングはさらに遅くなって34年後となる。より興味深いのは、今から4年後までのいずれかの年に投資したとしても純現在価値は負であるということである。もし、今すぐに投資することを前提にして純便益基準で判定すれば、純現在価値は負であるためこの事業は棄却されることになる。図3のような場合では過早による損失が生じるにしても、純現在価値自体は正であるため、事業を実施すること自体はまだは認される。しかし、図4の場合には、早すぎると純現在価値自体が負になってしまう。従って、実施するタイミングが早すぎることは遅くなることより深刻になてしまう場合があることを意味している。逆に、今すぐに実施することを前提にして純現在価値が負であることに基づいて判定すると、潜在的に重要なことは本的には採択されるべき事業を誤って棄却してしまう危険性があることを示唆している。今すぐに実施することを想定して評価され、その結果として棄却されるような事業であったとしても、投資タイミングを遅らせて最適な時期に事業を実施すれば純現在価値は正に成り得る。現在各所で行われている費用便益分析において、タイミングについて十分な吟味を行い、潜在的に意義のある事業を的確に掘り起こすことが必要である。

過早が問題となる場合として、例えば、事業が首長/議会選挙などの政治的争点となっている場合、あるいは政治的リーダーが任期内に成果として事業の実績を欲している場合などは、費用便益分析の結果が十分に尊重されないままに、適切なタイミングよりも早く事業が実施されてしまうようなことが有り得ると考えられる。

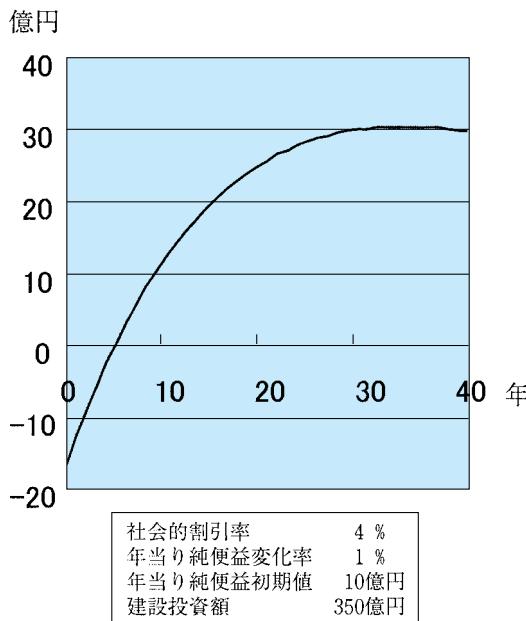


図 4 ケース2：純現在価値が負の区間を持つ場合

無論、年当り純便益が増加していくとしても、何年も待たずに今すぐに実施すべきという場合も存在する。図5は建設投資額を減らして200億円とした場合であり、純現在価値は図1と同じように $T=0$ で最大であり、今すぐに事業を実施すべきであることを示している。

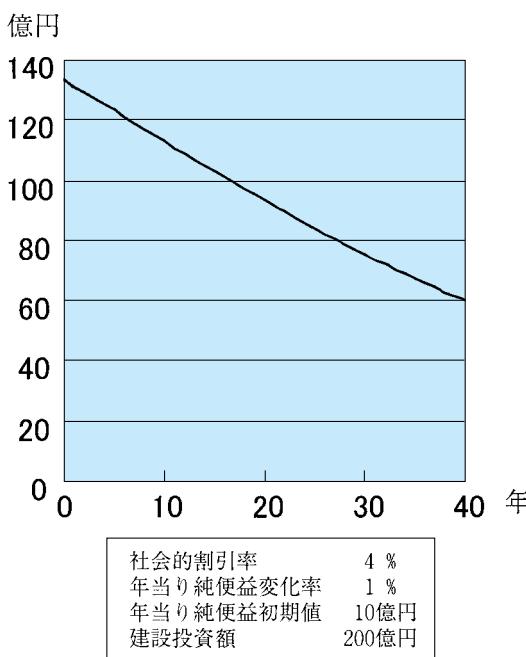


図 5 ケース2：純現在価値が単調に減少する場合

以上から、年当り純便益が増加していくことが期待できる場合には、投資タイミングを遅らせることによって純現在価値を最大にできる最適タイミングを探ってみることが重要である。待たないで早めに投資してしまうことが過早による社会的損失を招く危険性があり、また、早過ぎるタイミングを想定して判定すると実行すべき事業を誤って棄却してしまう危険があることに特に注意が必要である。最適な投資タイミングよりも遅く実施した場合は、

図3,4,5のいずれも、純現在価値は減少するものの依然として正であることを示している。従って、仮に最適なタイミングよりも遅延しても事業は依然として実施に値するということになる。

遅延による社会的損失を強調する意見があることは確かである。ここで示したケースでは、遅延は社会的損失をもたらすが、それでも純現在価値は正であるので事業は実施に値する。しかし、過早は損失をもたらすだけでなく、純現在価値が負になる場合があり、もし、同じ年数だけ遅延することと過早になることを比較すれば、過早による損失の方が深刻になる場合すらある。公共事業評価において、これまでよりも一層の慎重さを徹底するならば、遅延の議論だけでなく、過早についても目を向けるべきであろう。

## 5 ケース3：早めにやるべし、手遅れなら破棄

数値例として最後に示すのは、年当り純便益が一定率で減少する場合( $\omega < 0$ )である。このようなケースは従来の費用便益分析ではあまり想定されることは無かった。しかし、既に述べたように我が国のマクロ的基調として、経済成長が期待できない成熟した社会や、高齢化による人口減少が予想される社会においては検討しなければならないケースになってくるであろう。また、地方の中山間部におけるいわゆる過疎化の進行している地域では、ローカルなレベルでこのような傾向が既に顕在化している。従って、一つには、国民経済の影響を直接的に受けような国土幹線的な交通整備の場合にはこのような想定でタイミングを吟味することが必要である。もう一つには、過疎化が今後も進行することが予想されるような地域での交通整備や公共公益施設整備のような事業の場合に重要であり、効率性基準の観点からもっとも適切なタイミングを探ることが必要である。ただし、後者の場合には、本稿では議論の錯綜を避けるために敢えて議論しないが、効率性基準の他に公平性の基準からの評価も必要であることに注意が必要である。

図6は図1と同じ設定のもとで年当り純便益が0.8%で減少するとした場合の純現在価値を表している。この場合には、 $t=T=0$ で純現在価値が最大であり、そこが最適タイミングである。タイミングが遅くなるにつれて純現在価値が減少して負になり、やがては再び増加に転じる。ただし、増加に転じた後でも純現在価値は正に戻ることはない(数学的な証明はUeda, Sheila and Morisugi(2001)を参照)。図から読み取ると、今すぐに実施することが最適ではあるが、仮に実施が遅れても5年後までに実施するのであれば、純現在価値が依然として正

であるので、事業は実施に値することになる。しかし、それよりも遅れてしまうと純現在価値は負になるため、事業は実施するべきではない。すなわち、5年の期限より先遅れてしまった場合には、事業を破棄しなければならない。

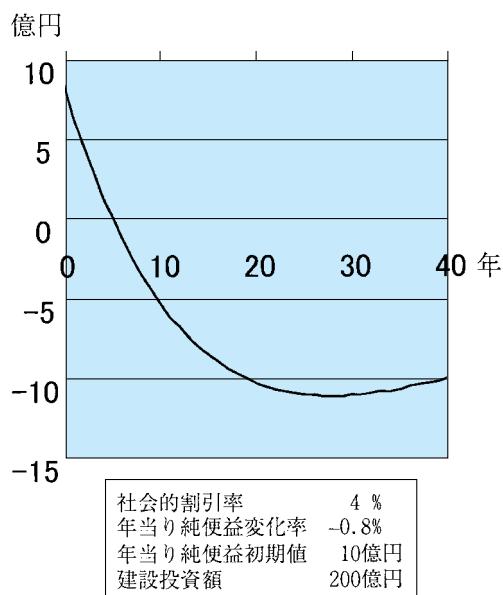


図 6 ケース3：純現在価値が正から負に転じる場合

無論、今すぐに実施することがもはや手遅れである場合も存在する。図 7は図 6の設定において建設投資額を少し増加させて220億円に変更して描いたものである。 $T=0$ において純現在価値が負であり、そして、いずれのタイミングでも負となっている。従って、この場合には事業は永遠に実施するべきではない。

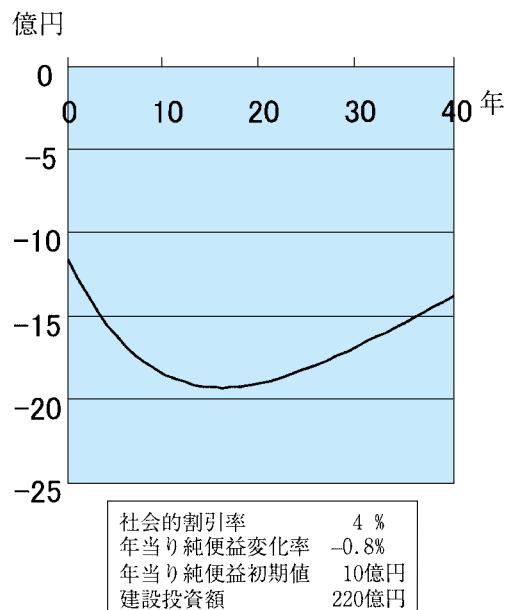


図 7 ケース3：純現在価値が正にならない場合

## 6 比喩的なまとめ

本稿で紹介した知見についてまとめてみる。ややくだけた表現であることを承知でまとめると、直感的には以下のようになる。

食品や飲料には採れたてや作りたてが一番おいしいというものが多い。ケース1で示した今すぐに事業を実施するべしという場合はこれに当る。

一方、食品や飲料の中には、ワインやチーズのように熟成して“食べ頃”になるまで待った方が良いものがある。ケース2で示したような、今すぐに事業を実施するのではなく、何年か待った後に事業を実施する方が望ましい場合がこれである。場合によっては、熟成を待たないで早く食べようとしても、渋柿のようにとても食べられたものではないというものもある。ケース2で示した早過ぎるタイミングで事業を実施すると純現在価値が負になってしまう場合がこれに相当すると言える。まさに“機が熟すのを待つ”という慎重さが必要な場合である。今後は、著しい経済成長や人口増加を期待できないため、将来の年当り純便益の増加を見込んで事業の実施を待つという選択が行うのは一般的には難しいであろう。しかし、局地的に考えれば、例えば鉄道整備と都市開発のように、一方の事業が他方の事業における将来の便益を増加させるような場合があろう。そのような場面では、このようなタイミングの選択が意味を持つと考えられる。

ほとんどの食品や飲料には“賞味期限”があり、それを超えてしまうと廃棄処分にしなければならない。ケース3では、今すぐに事業を実施するべきであるが、もし、実施が遅れてある期限を過ぎてしまったら、事業を破棄するべきであるという場合を示した。従って、事業の実施に対してもいわば賞味期限が存在すると言える。進行中の事業について続行と中止を再検討する場合は、まずは賞味期限を考えてみるべきである。事業進行の途中段階で見直しをする際に、もし、今後は人口減少や経済停滞によって需要が減少することが予想されるなら、年当り純便益は減少すると言える。それならば、まずは“事業の賞味期限”を考えて見るべきである。既に賞味期限切れで手遅れならば事業の破棄という勇気ある選択が必要である。しかし、もし、賞味期限まで時間があるなら、できるだけ完成・供用を急ぐべきである。公共事業再評価の多くの場面において、これらの選択が定量的な分析に基づいて議論され、その結果が公開されることが是非とも望まれる。

## 7 おわりに

我が国の政府部门が採用している現行の多くの費用対効果分析指針はすぐに建設を開始することを想定しているように見受けられる。このことを動機として、本稿では事業の投資タイミングに最適解が存在することに着目して、それからの乖離が社会的損失をもたらすいくつかの特徴的な例を数値的例で示した。数値例を用いたのは、数理モデルによる解析的な証明を回避して直観的な理解を優先するためである。ただし、本稿で示した知見は解析的に確認されているものであるので、興味のある読者は該当する参考文献を参照していただきたい。

近年では、投資タイミングについては、金融工学の理論的な発展を受けて、Real Option Approachと呼ばれる手法で議論される場合が多い。そこでは、不確実な環境のもとでの意思決定を表現する多くのモデルが議論されている。横松・織田澤・小林(2001)は既にそのアプローチで公共事業の遅延損失について理論的な議論を開いている。本稿では敢えて事業を取り巻く不確実性を取り除いて、確定的な世界でのタイミング選択を議論したが、それでもReal Option Approachに一部として含まれているタイミングの重要性を示すことはできたと考えている。Real Option Approachでの議論については、本稿のように直観的に図示することができた段階でいざれ紹介する機会を得たいと考えている。

注

注1) は連続型では、

$$V(T) = -I \exp(-\rho T) + \int_T^{\infty} (\bar{b} - \bar{c}) \exp(\omega t) \exp(-\rho t) dt$$

離散型では、

$$V(T) = -\frac{I}{(1+\rho)^T} + \sum_{t=T}^{\infty} \frac{(\bar{b} - \bar{c})(1+\omega)^t}{(1+\rho)^t}$$

と定義されたものと等価である。

### 参考文献

- 1)森地茂,福田大輔,中山東太,堤盛人(2001),公共事業への時間管理概念導入に関する研究,土木工学研究会平成13年第1回講演資料集(財)総合研究奨励会・東京大学工学部土木教室,pp.1-20,2001.7
- 2)中山東太,福田大輔,森地茂(2000),事業遅延に伴う時間的損失の計測,土木学会第55回国次学術講演会・講演概要集(CD-ROM)
- 3)Ueda, T. and Tamaki, K.( 2001 ), The Value of Project Scheduling, presented at ISTIM, California, Berkely, 2001
- 4)Marglin, S.A. ( 1963 ). Approaches to Dynamic Investment Planning, Amsterdam, 1963
- 5)森杉壽芳(1977),費用便益分析の公共土木計画への適用,学位(博士)請求論文,京都大学,1977
- 6)Ueda, T. , Ma, Sheila A. Gaabucayan and Morisugi, H.( 2002 ). Implement now or later : An Inquiry into the Timing of Investment, 東京工業大学土木工学科研究報告, No.65, pp.103-108,2002
- 7)横松宗太,織田澤利守,小林潔司(2001),プロジェクトの実施遅延がもたらす経済損失,平成13年度都市計画論文集,pp.925-930, 都市計画学会,2001

(原稿受付 2002年1月17日)