

途上国における生活関連社会資本の事業評価と オプション価値

佐藤 正幸¹・佐尾 博志²・森杉 雅史³・大野 栄治³

¹学生会員 名城大学大学院都市情報学研究科博士前期課程 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

²正会員 名城大学都市情報学部 特任助手 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

E-mail:sao@urban.meijo-u.ac.jp

³正会員 名城大学都市情報学部 教授 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

E-mail:orisugi@urban.meijo-u.ac.jp

³正会員 名城大学都市情報学部 教授 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

E-mail:ohno@urban.meijo-u.ac.jp

メコン川流域諸国では、水質汚染の問題が深刻となっている。この問題についての死亡率削減策には、従来より上下水道事業に代表される生活関連型社会資本の整備が有効であるとされるが、いかなる経済発展レベルにおいてそれを試みるべきかは依然として大きな課題である。筆者らの先行研究ではその評価のため、ラオスにおいてアンケート調査を実施し、WTPおよびVSLの算定を行い、また年代別に推計されたWTPは顕著なあるパターンを示し、この傾向は構築したオプション価格モデルと称する理論と整合的であることを明らかにした。本研究では、同じデータを用いてデータの精錬化を図り、さらにオプション価値を導出することを試みる。Kolstadの定義に準じたこのオプション価値は、被験者の不確実性への回避性向を表すものと解釈され、導出された指標は、年代及び死亡率リスク削減幅に対して単調に増加することが判明した。

Key Words :Option Price, Option Value, Expected Surplus

1. はじめに

メコン川流域の途上国では経済発展が進んでいる一方で、水質汚染の問題が存在する¹⁾。特に下痢症疾患での死亡リスクが高く、途上国では毎年180万人の死者を出し、そのうちの約90%が5歳以下の子供である。下痢症疾患の主な原因として、経済レベルの上昇に伴う生活排水や工業排水による水質悪化と報告されている²⁾。このように、生活環境の悪化は直接人の命に影響を及ぼしており、その対策としては上下水道整備が最も一般的で効果的であろう。

上記のような生活関連型社会資本整備事業の評価を試みた先行研究にはOhno et. al.(2012)³⁾やMorisugi et. al.(2013)⁴⁾が挙げられる。Ohno et. al.(2012)³⁾はメコン川流域諸国における下痢症疾患を対象としたCVM形式でのアンケート調査を行い、上下水道整備事業による仮想的な死亡率削減策(オプションと称する)に対する人々の支払意思額(WTP: Willingness to Pay)と、これに基づく統計的生命価値(VSL: Value of a Statistical Life)の算定を行っている。

なお、WTPは適応政策の便益を評価するためには重要な指標であり、一般的にオプション価格(OP: Option Price)としても用いられている⁵⁾。

しかし、Ohno et. al.(2012)³⁾の算定では、年代別の評価を行っておらず、リスク削減幅別の評価に留まっている。実際に、所得や全要因死亡率は年代によって異なり、所得は50代半ばまで上昇し、それ以降は下降する。一方、全要因死亡率は5歳未満の死亡率は比較的高く、50代～60代とほぼ同等の死亡率である。その後は低い死亡率を保ちながら徐々に上昇するが、50歳以降は死亡率の増加が著しく、特に65歳以降になると、前年齢区分の死亡率より約1.5倍と高い数値を示している。したがって、年代によってそれぞれの置かれている状況が異なっており、政策によって得られる恩恵も異なると考えられる。

そこで、Morisugi et. al.(2013)⁴⁾ではOhno et. al.(2012)³⁾におけるその問題点を補完する形で、同じアンケート調査結果を基に、年代別の死亡リスク削減幅に対するWTP関数を推定している。ここで同じ死亡リスク削減幅に対して得られた各年代別WTP平均値を並べると(本論付録

を参照されたい），その形状は非常に特徴的であり，他のデータセットでも同様な相似形が得られていた．このことを吟味するために，同論文では本論文4章で再掲するような理論モデルを構築をし，その整合性を論じている．

またMorisugi et. al.(2013)⁴⁾では，このアンケートの被験者の回答方法には大きく2通り存在し，当初我々が想定していたオプション価格とは異なる意味合いでのWTPが得られている可能性が指摘されている．オプション価格以外のWTPはリスク削減幅に対して凹関数形状を示す保証はなく，したがって，一般にリスク回避選好を持つ個人の効用関数を推定するには不適合となる．

このような論脈の下，本研究では，Ohno et. al.(2012)³⁾と同様のアンケートデータ及びMorisugi et. al.(2013)⁴⁾による理論モデルを基盤として，年代別のWTPを算定する．また上述のOPによって回答している被験者データのみ抽出する方法を提案し，再度推定した結果を提示する．さらにこれらの値を用いて，Kolstad et. al (2001)⁶⁾が定義しているオプション価値（OV：Option Value）を年代別に導出することを試みる．

なお，OVとは一般に，被験者にとってサービスを受けることができる可能性・権利を確定化する価値分と解釈される．特に途上国のように，対象となるオプション：上下水道などの生活関連型社会資本の整備後に，実際にどれだけの居住民がそれを使用し，料金が徴収できるかどうか分からないような状況下においては，その効率性を問う上で実務上重要な指標となりうる．

2 データの収集

(1) アンケート調査の実施

筆者らは2011年にラオスのヴィエンチャン市周辺で，15歳以上の男女を対象としたアンケート調査を行っている．具体的には，ラオス国立大学のKYOPHILAVONG准教授に調査の協力をお願いし，現地において直接面接形態で行った．調査方法は，仮想市場評価法（CVM：Contingent Valuation Method）を用いて，安全な水供給サービスに対するWTPを尋ねた．その結果，2,807件のサンプル数が得られた．なお，被験者の属性（性別，年代別，所得別）については以下のとおりである．

【性別】男性：60.0%，女性：40.0%

【年代別】19歳以下：1.7%，20代：33.7%，30代：29.5%，40代：22.0%，50代：10.3%，60歳以上：2.8%

【所得別】\$99以下：1.5%，\$100～\$299：0.9%

\$300～\$499：3.2%，\$500～\$999：13.5%

\$1,000～\$1,499：27.5%，\$1,500～\$1,999：23.7%，

\$2,000～\$2,999：22.9%，\$3,000以上：6.8%

(2) アンケート調査の内容

アンケート調査の表題は「メコン川の水質悪化に伴う死亡リスクの意識調査」と題して，以下の質問内容で調査を行った．

問1・問2：死亡リスクの認識

問3・問4：メコン川の水質悪化に伴う下痢症疾患による死亡リスク増加の認識

問5：安全な水供給サービスに対する支払意思額(1回目)

問6：問5において，提示金額\$1でサービスを受けないと回答した理由

問7：安全な水供給サービスに対する支払意思額(2回目)

問8：問7において，提示金額\$1でサービスを受けないと回答した理由

問9～問14：被験者の個人属性

（性別，年齢，配偶者の有無，家族人数，5歳以下の子供人数，所得）

まず，メコン川流域6カ国の各種死因の死亡リスク⁷⁾に関する一覧（死亡リスクのものさし）を提示した後，問1及び問2では普段の生活において，馴染みのない死亡リスクの考え方に慣れてもらうために簡単な質問を行った．具体的には，ある2つの死亡リスクを取り上げ，それらの年間死亡リスクはどちらの方が高いか，また2つの死亡リスクの間に2倍の差があることが分かるか質問した．

次に，問3及び問4ではメコン川の水質悪化に伴う死亡リスクに対する意識について簡単な質問を行った．具体的には，被験者にメコン川流域6カ国の下痢症及び様々な消化器官の疾患による死亡の現状や，それらの病気の原因について説明した後，これらの死亡リスクがどのように変化してほしいかを質問した．

以上で示した質問は，被験者がアンケート内容及び死亡リスクを把握しているか判断するものであり，分析時に使用するデータの判断基準になるものである．

本研究の中心部分は，問5から問8であり，内容については表-1に示すとおりである．ここでは，安全な水供給サービスによって水質悪化に対する死亡リスクを減少できることを述べた後，仮想的な安全な水供給サービスに対するWTPを答えてもらった．なお，具体的な安全な水供給サービス例として，上下水道の整備や安全なペットボトルの飲料水の配布を想定した．

ここで，本アンケート調査において安全な水供給サービス適用の有無による下痢症の死亡リスクは表-2に示すとおりである．もし，安全な水供給サービスを受けない場合，下痢症による死亡リスクは100/100,000となる．一方，安全な水供給サービスを受ける場合，表-1中の「あなたの下痢症による死亡リスクは年間X/100,000（人口10万人あたりX人）」のXが表-2で示すように，ケース別

で異なる死亡リスクを設定しており、また1回目の質問と2回目の質問とでも異なる死亡リスクを設定している。

表-1 死亡リスク削減のための支払意志額に関する質問

問6, 問8(説明)
もし、下痢症や様々な消化器官の疾患の死亡リスクを減らすことができるような、より安全な水を供給するサービスを得られるとしたら」と考えてお答えください。
このサービスについては、上下水道の整備や、安全なペットボトルの飲料水を配分される、などを想像してください。
ただし、このサービスは有料であり、年間で一定額を支払わねばなりません。
問6, 問8(説明)
このサービスを受けないと、あなたの下痢症や様々な消化器官の疾患による死亡リスクは年間 100/100,000 になる
このサービスを受けると、あなたの下痢症や様々な消化器官の疾患による死亡リスクは年間 X/100,000 になる
問6, 問8(説明)
上記のサービスを受けるために必要な金額が示されています。あなたは、(1)~(10)のそれぞれについて、このサービスを受けますか、それとも受けませんか。あてはまるものを（それぞれ）1つ選んでください。
なお、この金額は「安全な水供給サービスの年間契約料金（必要な数量だけ提供されるという契約）」としてあなたご自身に負担していただくものであり、その金額分だけあなたの購入できる他のものが減ることを十分念頭においてお答えください。
(1) サービスの料金が年間\$1 の場合
1. サービスを受ける 2. サービスを受けない
(中略)
(10) サービスの料金が年間\$300 の場合
1. サービスを受ける 2. サービスを受けない
問7, 問9
年間 \$1 で「サービスを受けない」とお答えになった方にお伺いします。その理由は何ですか。あてはまるものを1つ選んでください。その他の場合は、（ ）の中に具体的にお書きください。
1. 下痢症や様々な消化器官の疾患の死亡リスクを減らしたいと思うが、この安全な水供給サービスに年間 \$1 も支払う価値はないと思うから
2. 下痢症や様々な消化器官の疾患の死亡リスクを減らしたいと思わないから
3. この安全な水供給サービスが本当に効果をもつかどうか信用できないから
4. 自分は絶対に下痢症や様々な消化器官の疾患にならないと思うから
5. これだけの情報では判断できないから
6. その他（ ）

表-2 ケース別の下痢症による死亡リスクの設定

ケース	サービスを 享受しない (共通)	サービスを享受する	
		1回目	2回目
1	100	80	60
2		80	40
3		60	20
4		40	20
5		60	80
6		40	80
7		20	60
8		20	40

質問形式は『多段階二項選択方式（マルチバウンド）』、支払手段は『サービスの契約料』、支払形式は『毎年払い』、支払単位は『個人単位』とした。

水供給サービスに対する提示金額は、10パターン（\$1, \$3, \$5, \$7, \$10, \$30, \$50, \$70, \$100, \$300）設定し、被験者には\$1から順に提示した。なお、最初の提示金額\$1において、サービスを受けないと回答した被験者には、その理由を尋ねた。

(3) アンケート調査の特徴

本アンケート調査の特徴として、各被験者には異なる2つの死亡リスクの削減幅を提示し、それぞれに対するWTPを回答してもらっている。このような方法を取ることで、提示した死亡リスク削減幅の変化に対して、被験者のWTPが同様の変化するかを検証することが可能となる。ちなみに、この検証方法は栗山ら(2007)⁹⁾による交通事故対策を対象とした評価シナリオの設定方法を参考にしている。栗山ら(2007)⁹⁾が言う内部スコープテストを検証するための方法である。

3 評価モデル

(1) ランダム効用関数への適応

本研究では、表-1における安全な水供給サービスに対する選択行動をランダム効用理論の枠組みで捉えたと、被験者の確定効用は次式のように表される。ここでは、確定効用関数の説明変数は「水供給サービスに対する契約料」とし、線形の関数で定式化した。

$$V_i \equiv a \cdot X + b \cdot \ln(t_i) \quad (i = \text{yes}, \text{no}) \quad (1)$$

ただし、 V : 確定効用関数、 X : 水供給サービスに対する契約の有無、 t : 水供給サービスに対する契約料、 a , b : 未知のパラメータ。

ここで、経済学では人々の行動は常に客観的合理性の基で意思決定を行うとしているが、実際は必ずしもそのような意思決定は取らず、むしろ、自己の意見や経験を

基に意思決定をすることが多い⁸⁾。そこで、人々が選択した行動から得られる効用は次式のようになり、常に変動すると考えられる。

$$U_i = V_i + \varepsilon_i \quad (i = \text{yes}, \text{no}) \quad (2)$$

ただし、 U ：実際に感じる効用、 ε ：効用の変動分。

本研究では、式(2)の ε の確率分布は正規分布に類似したガンベル分布と仮定し、各選択肢の理論的選択確率は最も操作性の高いロジットモデルとして、式(3)と式(4)のように与えられる。

$$p_{\text{yes}} = \frac{\exp(w \cdot V_{\text{yes}})}{\exp(w \cdot V_{\text{yes}}) + \exp(w \cdot V_{\text{no}})} \\ = \frac{1}{1 + \exp\left\{-w(V_{\text{yes}} - V_{\text{no}})\right\}} \quad (3)$$

$$p_{\text{no}} = 1 - p_{\text{yes}} \quad (4)$$

ただし、 p_{yes} ：水供給サービスを受けるときの理論的選択確率、 p_{no} ：水供給サービスを受けないときの理論的選択確率、 w ：ランダム効用の分散パラメータ(一般的に $w=1$ と仮定する)。

(2) 観察可能な効用関数の特定化

下痢症及び消化器官の疾患の死亡リスクを減少させるためのオプション(ここでは、上下水道の整備とする)に対する賛成する場合の効用と反対する場合の効用の差は次式で表される。

$$\Delta V_i = V_{\text{yes},i} - V_{\text{no},i} = a_i + b_i \cdot \ln(t_i) \quad (5)$$

ただし、 i ：年代(20代、30代、40代、50代、60歳以上)

以上より、式(3)および式(4)の理論的選択確率を用いて選択結果集合の同時確率関数(尤度関数)を構築し、そして、アンケート調査結果のデータを適用し、最尤法により効用関数のパラメータを推定する。

(3) パラメータ推定の結果

式(5)のパラメータ推定の数値結果については、紙面の都合上、Morisugi et al.(2013)⁴⁾を参照されたい。

本研究の分析に用いる標本数は表-3に示すとおりである。アンケート調査において得られた標本数は2,807件であるが、このうち、アンケート内容の問1、問2(死亡リスクに対する認識)と問3、問4(メコン川の水質悪化に伴う死亡リスクに対する意識)の質問において、死亡リスク間の大小関係や下痢症による死亡リスクの状況把握が出来ていない被験者を分析から除外した。また、10代については、サンプル数の少なさにより分析から除外した。これにより、問4の除外該当者は119人、10代の標

本数は48人(そのうち、問4の除外該当者は2人)となり、その結果、標本数は2,642件となった。各年代の標本数については表-3に示すとおり、20～40代は比較的多くの標本数がある一方で、60歳以上の標本数は75件と比較的に少ない。

なお、各被験者はアンケート票(表-1)で示すように、問5及び問7では安全な水供給サービスに関する一対比較質問を繰り返し10回行っているため、分析に用いられる全体の標本数は26,420件となる。各年代の標本数については、同様に表-3の標本数を10倍したものとなる。

以上の処理を踏まえたパラメータ推定の結果について、いずれのケースにおいて、十分な t 値が得られ、帰無仮説が有意水準0.01以下で棄却することができる。

表-3 シミュレーションに使用した標本数

	標本数(件)	構成割合(%)
20代	902	34.1
30代	792	30.0
40代	590	22.3
50代	283	10.7
60歳以上	75	2.8
合計	2,642	100.0

(4) 支払意思額の推定式及び推定結果

本研究では、下痢症及び消化器官の疾患の死亡リスクを減少させるためのオプションを各年代におけるWTPで評価する。このとき、式(5)において $V_{\text{yes}} - V_{\text{no}} = 0$ となる t によって各年代のWTPが推定される。

$$WTP_{\text{median},i} = \exp\left(-\frac{a_i}{b_i}\right) \quad (6)$$

ただし、 $WTP_{\text{median},i}$ ：年代別WTPの中央値。

ここで、本研究における年代別WTPはアンケート設計上、各リスク削減で4点存在する。そこで、年代別かつリスク削減幅別で加重平均を行い、各リスク削減幅において1点の年代WTPとなるようにした。

(5) オプション価格の推定結果

式(6)及びパラメータ推定の結果より、得られたOPは付録1～付録4に示す通りである。年代別にはいずれのリスク削減幅においても年代が上がるようにそのOPは増加する。その理由は次章の理論モデルで推察されるように、主に全要因死亡率及び所得と年代との関係にある。また50代のみ法則外れとなっているが、後述するように、これは他愛性選好の存在が影響しているものと思われる。

4. 理論モデル

Morisugi et. al. (2013)⁴⁾では、アンケート調査において政策の実施によって被験者が得られる効用、すなわちオプションに対するWTPには異なる2つの考え方で答えている可能性があることを指摘している。1つ目は、オプション価格モデル、2つ目は、支出最小化モデルである。いずれもNeumann - Morgenstern 型期待効用理論を基盤としており、また、被験者が死亡時にどのような所得水準を得ようとも、被験者自身の効用には全く影響を与えないものとした。すなわち、他愛性選好の存在を完全に否定することになる。

基本期間である1年先の将来において、被験者には生存あるいは死亡の2つの状態があるとし、これらは確率的に決定される。オプション導入の効果はその死亡確率を減少させる。一般的なオプション価格は、被験者は事前期待効用と事後期待効用を等しくするよう、オプションに対するWTPを定め回答している、と考える。すなわち、

$$(1-p)U(y)+pU(y')=(1-p+r)U(y-x^*)+(p-r)U(y'-x^*) \quad (7)$$

ただし、 p ：事前死亡確率($0 < p < 1$)、 $U(\cdot)$ ：効用関数、 y ：事前生存時所得、 y' ：事前死亡時所得、 x^* ：OP、 r ：オプションによるリスク削減幅。

ここで、効用関数は通常の顕示選好の仮定 ($U' > 0$, $U'' < 0$) を満たすものとし、また、 $r \leq p$, $x \leq y$ を仮定する。他愛性選好否定の仮定より、式(7)は、

$$(1-p)U(y)=(1-p+r)U(y-x^*) \quad (8)$$

式(8)をOP (x^*)と全要因死亡率(p)について、両辺微分すると、式(9)及び式(10)が導かれる。

$$-U(y)dp = -U(y-x^*)dp - (1-p+r)U'(y-x^*)dx \quad (9)$$

$$\frac{dx^*}{dp} = \frac{U(y)-U(y-x^*)}{(1-p+r)U'(y-x^*)} > 0 \quad (10)$$

$(1-p+r) > 0$, $U'(y-x^*) > 0$, $U(y) > 0$, $U'(y-x^*) > U'(y)$ より、式(10)は常に正の値となる。したがって、OPは全要因死亡率に対して増加関数である。

次に、式(8)をOP (x^*)と所得(y)について、両辺微分すると、式(11)及び式(12)が導かれる。

$$\{(1-p+r)U'(y-x^*) - (1-p)U'(y)\}dy = (1-p+r)U'(y-x^*)dx^* \quad (11)$$

$$\frac{dx^*}{dy} = \frac{(1-p+r)U'(y-x^*) - (1-p)U'(y)}{(1-p+r)U'(y-x^*)} > 0 \quad (12)$$

$(1-p+r) > 0$, $U'(y-x^*) > 0$, $U(y) > 0$, $(1-p) > 0$, $(1-p+r)U'(y-x^*) > (1-p)U'(y)$ より、式(12)は常に正の値となる。したがって、OPは所得に対して増加関数である。

さらに、OP (x^*)とリスク削減幅について、式(8)について両辺 x^* 及び r で微分し、さらにそれを r で微分すると以下が導かれる。

$$U(y-x^*)dr - (1-p+r)U'(y-x^*)dx^* = 0 \quad (13)$$

$$\frac{dx^*}{dr} = \frac{U(y-x^*)}{(1-p+r)U'(y-x^*)} > 0 \quad (14)$$

$$\frac{d^2x^*}{dr^2} = \frac{-U''(y-x^*)}{(1-p+r)^2U'(y-x^*)} < 0 \quad (15)$$

ここで、 $(1-p+r) > 0$, $U'(y-x^*) > 0$, $U(y-x^*) > 0$, $(1-p+r)^2 > 0$ より、式(14)は常に正、一方、式(15)は常に負の値となる。よって、オプション価格モデルの要領で答えてきた被験者のWTPは、リスク削減幅に対し、凹関数となる。

一方、支出最小化モデルでは、被験者が事前に類似する財・サービスの価格とその効果（または、リスク削減幅）を知っており、それらの情報を参考にして、調査が提示したオプションの効果に対し、代理市場におけるその対価を答えている、と考える。一般に代理市場として代表的な医療費用支出はリスク削減幅に対し逓増、すなわち、凸関数の形状を持つと考えられる。

ただし、被験者が考えているリスク削減幅と調査が提示リスク削減幅が一致する場合、被験者は下記の期待効用を最大化するよう支出を決定する。

$$\max_x [1-p+r(x)]U(y-x) \quad (16)$$

ただし、 $r(x)$ ：リスク削減幅に対する代理市場財費用関数。

この時はMorisugi et. al. (2013)⁴⁾で示すように、オプション価格モデルと同様、その支出額は全要因死亡率、所得に対して増加関数となる。また、この場合にはこの調査の本来の目的、被験者の死亡リスク削減策に対する選好に関する情報入手を図ることができるが、一般にそれを判断する術はないので、本研究では後述するような方法を用いて、オプション価格形成以外の回答をしてきたものとみなされる被験者のデータを除外することを試みる。

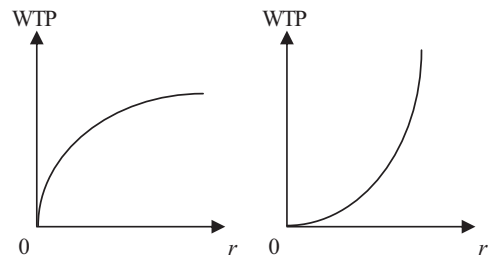


図-1 オプション価格モデル 図-2 支出最小化モデル

5. オプション価格モデルのデータ選定

(1) 分析データから除外

本章では、Kolstad(2001)⁶⁾によるオプション価値(OV: Option Value)の定義に準拠し、被験者の年代別のOVを導出することを試みる。Kolstad(2001)⁶⁾の定義ではオプション価格とオプション価値の関係が明確であり(次章参照)、本論では以降、前章までの議論を受けた形でOVの導出を図るが、そのためには前述のオプション価格モデルで示したような様式の回答のみをデータから抽出する必要がある。そこで、同アンケートデータを以下で示すような方法を用いてデータを分類する。まず、以下の3つの条件について該当する回答例は分析データから除外する。

- ①被験者が答えたWTPが死亡リスク削減幅の増加・減少に対して連動していないケース
- ②1回目または2回目の回答で1度でも\$1を支払う意思がないと回答しているケース
- ③1回目及び2回目で最大支払金額である\$300を選択しているケース

ここで①については、栗山ら(2007)⁵⁾による内部スコアテストと同様な意味である。②については、データ自身が情報価値を持ちえない。③については、今回の提示金額幅が最大\$300であるため、本来さらに高い金額を選択する可能性がある。この支払上限値のため、後述する分類方法では抽出が正確になされないため、分析データから除外する。抽出後のサンプル数は2,545件となる。

(2) オプション価格モデルと支出最小化モデルの分類

(1)で抽出されたデータをさらに図-3及び図-4に示す方法を用いて、その回答方法をオプション価格モデルと支出最小化モデルに分類する。述べたように同アンケートでは、一人の被験者に2回の異なるオプション導入後のリスク削減幅に対しWTPを尋ねている。そこで、各被験者が回答したリスク削減幅別のWTPをグラフにプロットし、原点0とリスク削減幅 r_2 のWTP $_2$ を直線で結ぶ。次に、上記の直線を基準にリスク削減幅 r_1 のWTP $_1$ が直線より上または下のどちらに位置するかを確認する。直線より上に位置する場合はオプション価格モデル様式、直線より下に位置する場合は支出最小化モデル様式と判断する。その結果、各モデルにおける年代別の標本数は表-4に示すとおりである。表-4より、オプション価格モデルと支出最小化モデルの標本数はそれぞれデータ抽出後の標本数の約69%、約31%を占めていた。また、年代別で見ると、支出最小化モデルは20代～50代では約30%前後、60歳以上は約63%であった。

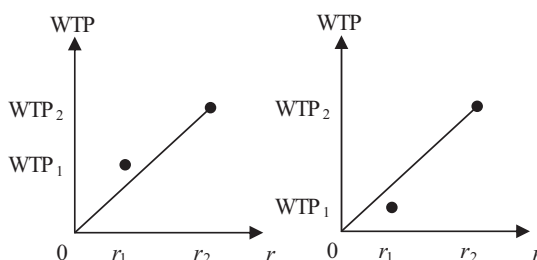


図-3 オプション価格モデル 図-4 支出最小化モデル

表-4 データ分類後の各モデルの年代別標本数

	オプション 価格モデル 標本数(件)	支出最小化 モデル 標本数(件)
20代	620	249
30代	531	226
40代	365	207
50代	187	85
60歳以上	46	29
合計	1,749	796

6. オプション価値モデル

(1) Kolstadの期待余剰とオプション価値の定義

Kolstadが定義しているOP及びESの関係は、図-5のように表される。

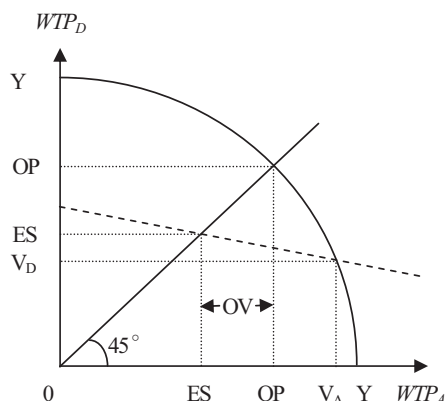


図-5 Kolstad によるOP及びESの関係図

初めに、(オプション導入の)事前及び事後において、期待効用水準が無差別となる状態別所得の組み合わせを描写する。分析の前提として被験者は各状態別に支払いの実額の差別化は認めていないので、状態別の事前・事後所得は同じである。次に、原点0から45°の角度で直線を引き、事後の無差別曲線との交点を新たに原点と読み

替え、これを中心に同図面を反転させる。その際得られる図面が図-5であり、ここにおける曲線は前述の交点から見た事前無差別曲線である。さらに同図の原点0から45°の角度で直線を引き、事前無差別曲線との交点をとると、両軸に垂線を下した値が、オプション価格に相当する。すなわちOPとは、いかなる状態が実現するに関わらず一定の金額を支払うことを前提とし、事後期待効用と事後のそれと一致させるような支払意志額である。

期待余剰については、各状態別オプション導入の価値を計測し、状態の生起確率を乗じてその期待値を計算する。例えば状態Aにおいてのその便益を V_A 、状態Dにおいてのその便益を V_D とする。この便益を支払っていない事前の状態別の効用と、事後の所得からその便益を支払ったとする状態別の効用は等しい。よって、これらの状態別便益は図-5の事前の無差別曲線上にある。またこの点に、状態移行確率比の傾きを持つ直線を通過させ、45°線上で評価すると、状態に関わらず同額の支払いをするという契約の元で評価したオプションの評価値となる。これを期待余剰(ES: Expected Surplus)と呼ぶ(ただし厳密には補償需要関数上で余剰を議論すべきであるので、詳細はKolstad(1972)⁹⁾を参照されたい)。図-5における45°線との交点から各軸に垂線を下したものがそれに当たる。

また、導出したOPとESの差分がOVの値になる。ESとは、オプションを導入し、被験者がそれを実際に使用する際の期待便益であり、OVとは、被験者がそれを実際に使用するか否かは問わず、必要な際に使用料を払えばその使用が可能となる条件を整えることの価値、と解釈されよう。すなわちオプション価値とは、上下水道サービスが必要となる際に使用が不可能であるという危険を回避するための支払意志額である。オプション価格はそれらの和であることになる。

(2) 本研究における期待余剰とオプション価値の算定

Kolstadの定義では事前・事後で状態移行確率は変化しないが、本研究で考えるモデルではその確率変化が主要な環境変化に当たる。したがってここではESを被験者の実質期待所得の変化と定義し、及びOVを以下の式で導出する。

$$ES = (1-p)y - (1-p+r)(y-x) \\ = (1-p+r)x - ry \quad (17)$$

$$OV = OP - ES \quad (18)$$

ただし、 p : 死亡確率、 r : リスク削減幅、 x : OP、 y : 所得。

本研究におけるOP、ES、OVの関係を模式的に表したものが図-6である。

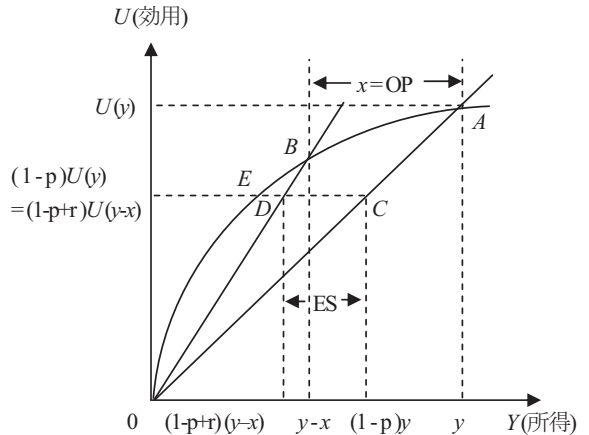


図-6 オプション価格モデルによる OPとESの関係図

図-6の効用曲線は、個人における所得と効用の組み合わせを表している。ここでは、ある個人の事前の所得を y 、効用を $U(y)$ と仮定し、点Aを置く。次に、原点0からAまでの直線を引く。ここで、事前の死亡確率を p 、生存確率を $1-p$ とした場合、0Aが $1-p:p$ の比をとるような内分点をCとする。この時、事前の期待所得は $(1-p)y$ となる。

同様に、事後の所得と効用の組み合わせを点Bと置き、原点からの直線を引く。この時点で、事前と事後では所得が変化している。この所得の差分が x 、すなわちOPである。よって、事後の生存時所得は $y-x$ となる。また、事後においてはオプションによって死亡確率が r だけ下がる。よって、事後の生存確率と死亡確率はそれぞれ $(1-p+r)$ 、 $p-r$ に変化する。そして、0Bを $(1-p+r):p-r$ に内分する点をDと置くと、事後の期待所得は $(1-p+r)(y-x)$ となる。

したがって、事前と事後の期待効用を一致させるための期待所得の変化分はESとなり、図-6ではCDにあたる。

なお、Schmalensee(1972)⁹⁾ではOVの値が負になる場合があることを指摘しているが、本論のモデルでは死亡時効用はいずれも0とし、また、通常効用曲線が凹関数であることから、容易に $0 < ES < OP$ となることが証明できるので、その事柄は該当しない。

(3) オプション価格モデルによるパラメータ推定結果

以上、オプション価格モデルの要領で回答した被験者データのみを抽出し、再度式(5)のパラメータ推定を行った結果を表-5～表-9に示す。いずれのケースにおいても t 値は有意水準0.01以下で帰無仮説は棄却される。

表-5 オプション価格モデルによるパラメータ推定結果(20代)

	Case	$\alpha(t)$ 値	$\beta(t)$ 値	尤度比	標本数(件)
1 回 目	1	3.452(12.966)	-1.526(-14.333)	0.474	760
	2	3.275(14.336)	-1.403(-16.079)	0.443	920
	3	4.886(14.732)	-2.024(-15.038)	0.595	890
	4	4.384(10.368)	-1.892(-10.776)	0.561	460
	5	3.168(12.075)	-1.399(-13.667)	0.439	680
	6	3.634(13.055)	-1.524(-14.278)	0.479	720
	7	3.376(14.035)	-1.318(-15.592)	0.422	820
	8	3.050(11.437)	-1.507(-13.120)	0.457	700
2 回 目	1	3.713(13.645)	-1.506(-14.881)	0.477	760
	2	3.474(15.051)	-1.324(-16.613)	0.426	920
	3	5.132(15.380)	-1.988(-15.849)	0.601	890
	4	4.384(10.368)	-1.892(-10.776)	0.561	460
	5	2.945(11.260)	-1.445(-13.063)	0.442	680
	6	3.474(12.044)	-1.654(-13.254)	0.496	720
	7	2.986(13.076)	-1.315(-15.037)	0.414	820
	8	3.050(11.437)	-1.507(-13.120)	0.457	700

表-8 オプション価格モデルによるパラメータ推定結果(50代)

	Case	$\alpha(t)$ 値	$\beta(t)$ 値	尤度比	標本数(件)
1 回 目	1	3.413(8.022)	-1.546(- 8.888)	0.474	300
	2	3.488(6.297)	-1.801(- 7.303)	0.543	200
	3	4.268(6.953)	-1.801(- 7.303)	0.543	200
	4	3.281(7.103)	-1.437(- 7.963)	0.447	230
	5	3.334(4.699)	-1.459(- 5.245)	0.447	100
	6	3.193(7.546)	-1.608(- 8.533)	0.477	310
	7	3.951(6.594)	-1.658(- 7.065)	0.510	180
	8	3.372(7.723)	-1.419(- 8.600)	0.446	260
2 回 目	1	3.661(8.437)	-1.535(- 9.211)	0.480	300
	2	3.526(6.892)	-1.652(- 7.553)	0.495	230
	3	4.220(7.242)	-1.634(- 7.735)	0.513	200
	4	3.281(7.103)	-1.437(- 7.963)	0.447	230
	5	3.749(4.510)	-1.775(- 4.852)	0.514	100
	6	3.704(6.765)	-2.076(- 7.418)	0.545	310
	7	3.877(5.734)	-1.939(- 6.115)	0.540	180
	8	3.372(7.723)	-1.419(- 8.600)	0.446	260

表-6 オプション価格モデルによるパラメータ推定結果(30代)

	Case	$\alpha(t)$ 値	$\beta(t)$ 値	尤度比	標本数(件)
1 回 目	1	3.508(13.593)	-1.420(-15.006)	0.452	770
	2	3.194(13.058)	-1.476(-14.749)	0.456	830
	3	3.718(12.718)	-1.696(-13.739)	0.511	750
	4	2.909(9.534)	-1.226(-10.991)	0.387	430
	5	3.717(12.442)	-1.419(-13.590)	0.455	610
	6	3.667(12.282)	-1.523(-13.412)	0.479	630
	7	4.934(10.986)	-2.008(-11.242)	0.595	480
	8	3.235(11.424)	-1.392(-12.854)	0.439	590
2 回 目	1	3.908(14.180)	-1.457(-15.374)	0.469	770
	2	3.310(13.963)	-1.325(-15.592)	0.423	830
	3	4.327(13.827)	-1.745(-14.597)	0.540	750
	4	2.909(9.534)	-1.226(-10.991)	0.387	430
	5	3.309(11.587)	-1.448(-12.961)	0.453	610
	6	3.053(11.000)	-1.476(-12.607)	0.451	630
	7	4.794(9.486)	-2.267(- 9.586)	0.603	480
	8	3.235(11.424)	-1.392(-12.854)	0.439	590

表-9 オプション価格モデルによるパラメータ推定結果(60歳以上)

	Case	$\alpha(t)$ 値	$\beta(t)$ 値	尤度比	標本数(件)
1 回 目	1	2.317(2.523)	-1.211(- 3.160)	0.340	40
	2	8.589(2.771)	-4.317(- 2.744)	0.722	70
	3	3.988(3.768)	-1.883(- 3.984)	0.532	70
	4	1.642×10 ¹⁰ (1.812)	-4.537(- 1.873)	0.778	30
	5	5.440(4.322)	-2.084(- 4.425)	0.612	70
	6	5.730(4.022)	-2.148(- 4.119)	0.627	60
	7	5.696(3.720)	-1.974(- 3.918)	0.593	50
	8	3.206(3.467)	-1.110(- 3.793)	0.326	50
2 回 目	1	2.770(2.750)	-1.304(- 3.246)	0.376	40
	2	6.239(4.223)	-2.406(- 4.210)	0.669	70
	3	3.843(4.245)	-1.462(- 4.613)	0.455	70
	4	1.642(1.812)	-4.537(- 1.873)	0.778	30
	5	4.793(4.068)	-2.035(- 4.149)	0.582	70
	6	5.968(3.324)	-2.665(- 3.222)	0.656	60
	7	5.828(3.635)	-2.223(- 3.685)	0.636	50
	8	3.206(3.467)	-1.110(- 3.793)	0.326	50

表-7 オプション価格モデルによるパラメータ推定結果(40代)

	Case	$\alpha(t)$ 値	$\beta(t)$ 値	尤度比	標本数(件)
1 回 目	1	4.372(11.304)	-1.761(-11.909)	0.544	500
	2	3.144(9.736)	-1.410(-11.045)	0.440	540
	3	4.150(11.544)	-1.719(-12.246)	0.530	540
	4	4.622(8.882)	-1.872(- 9.234)	0.567	310
	5	3.317(8.881)	-1.359(- 9.924)	0.431	340
	6	4.764(12.496)	-1.819(-13.102)	0.564	580
	7	4.298(10.282)	-1.556(-11.027)	0.498	390
	8	3.166(9.324)	-1.449(-10.559)	0.448	420
2 回 目	1	4.794(11.575)	-1.843(-12.101)	0.569	500
	2	3.282(10.224)	-1.330(-11.444)	0.423	450
	3	4.897(12.223)	-1.774(-12.916)	0.558	540
	4	4.622(8.882)	-1.872(- 9.234)	0.567	310
	5	3.219(8.440)	-1.465(- 9.512)	0.453	340
	6	4.113(11.245)	-1.860(-11.817)	0.547	580
	7	3.774(9.731)	-1.558(-10.560)	0.489	390
	8	3.166(9.324)	-1.449(-10.559)	0.448	420

(4) オプション価格モデルによる推定結果

(3) で得られたパラメータ推定値と式(18)によって導出されたOP、及び、OVを、付録-5～付録-8及び表-10～表-13に示す。その結果、以下の4つの特徴となる点が挙げられる。

第一に、OPについては、付録-5～付録-8 と表-10に示すように、以上の操作を加えても50代の値はどのリスク削減幅でも40代より低く、大半のケースで60代以上より低い。この点はMorisugi et. al(2013)⁴⁾で述べているように、この世代は退職年齢間近及び子供の年齢等の問題、他愛性選好の存在を考慮すべきである、と思われる。

第二に、ESについては、表-11に示す通り、常にOPよりも低い値となる。よって、式(18)からOVの値が正になることも示される。

第三に、OVについては、表-12に示す通り、全てのリ

スク削減幅で年代が上がるにつれて増加の傾向を示した。特に60歳以上の値が大きく、他の年代と比較すると約6.3～61.0倍の値となった。この結果から、60歳以上の年代は寿命に対する意識が高く、死亡リスク削減の政策は、価値の大きいものと捉えていることが分かる。

最後に、OVとOP比については、表-13に示すとおり、OVの結果と同様に年代が上がるほど高い割合を示した。また、60歳以上の比率は10%以上の大きい値となった。

表-10 オプション価格モデルによる年代別のOP推定値

OP (US \$/year)	リスク削減幅(*100,000)			
	20	40	60	80
20代	9.06	10.57	10.88	11.27
30代	9.61	11.62	11.18	11.19
40代	9.91	11.91	11.74	13.32
50代	7.40	9.88	8.99	11.10
60歳以上	8.73	11.12	18.18	19.41

表-11 オプション価格モデルによる年代別のES推定値

ES (US \$/year)	リスク削減幅(*100,000)			
	20	40	60	80
20代	9.03	10.54	10.84	11.23
30代	9.57	11.57	11.13	11.14
40代	9.83	11.81	11.64	13.20
50代	7.27	9.69	8.81	10.87
60歳以上	7.85	9.95	16.27	17.31

表-12 オプション価格モデルによる年代別のOV推定値

OV (US \$/year)	リスク削減幅(*100,000)			
	20	40	60	80
20代	0.026	0.031	0.033	0.035
30代	0.042	0.052	0.053	0.057
40代	0.082	0.102	0.106	0.124
50代	0.129	0.185	0.175	0.227
60歳以上	0.884	1.170	1.911	2.103

表-13 オプション価格モデルによる年代別のOVとOP比

OV/OP (%)	リスク削減幅(*100,000)			
	20	40	60	80
20代	0.291	0.292	0.305	0.306
30代	0.434	0.447	0.475	0.511
40代	0.826	0.860	0.906	0.932
50代	1.743	1.877	1.943	2.043
60歳以上	10.117	10.526	10.511	10.834

7. まとめ

本研究では、Ohno et. al.(2012)³⁾と同様のアンケートデータ及びMorisugi et. al.(2013)⁴⁾による理論モデルを基盤として、年代別のWTPを算定した。さらに、その値を用いて、Kolstad et. al.(2001)⁶⁾が定義しているOVを年代別に導出した。その結果、本研究で得られた知見は以下に示すとおりである。

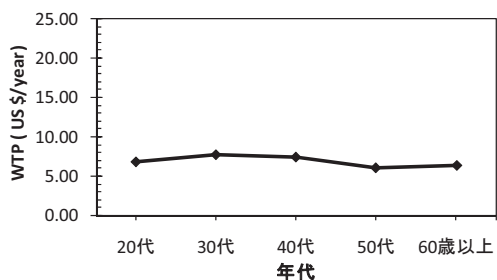
- ① 分類前と同様に、50代のOPは両側の世代の値より低い結果となった。これについては、他愛性選好の存在や、定年を間近に控えていることから予備的貯蓄動機による影響が考えられる。
- ② 推定結果は理論的推測と整合性を有し、 $0 < ES < OP$ の関係が示された。
- ③ OVの値は、リスク削減幅や世代の増加に伴い、単調に大きくなる。この指標は観念的に不確実性回避選好の度合いが強く影響するものと考えられるが、本論の実証値でもそれを裏付けられる形となった。

本論文における課題は2つある。1つ目は、死亡時における効用の扱いである。ここでは死亡時の効用は0という仮定の下でOPやOVを導出している。しかし50代のように他愛性選好の存在が疑われる場合には法則外れとなり、この傾向は他のデータ解析でも普遍的に見受けられ、顕著な年代別特性となっている。一方で、この仮定を外せば推移律の破綻や凹関数特性を満たさないなどの問題が生じ、その処理方法は難儀な課題となっている。

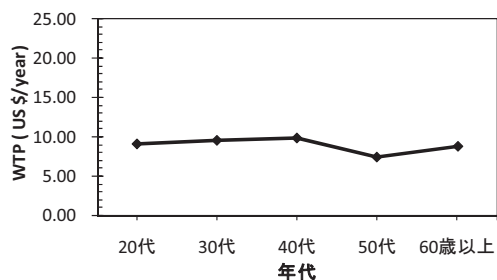
2つ目は、OVと個人の危険回避選好の度合いとの関係を吟味することである。見てきたように、OPやOVには所得や全要因死亡率といった世代間の格差に強く影響を受けている。本研究では世代間に効用関数自体の違いは特に考慮していないので、これを検証する術を吟味する必要がある。これらについては、今後の課題としたい。

謝辞：本研究は、環境省の平成25年度環境研究総合推進費（研究課題：温暖化影響評価・適応策に関する総合的研究、代表者：三村信男）及び文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラム（研究課題 ii - a：気候変動に伴う水資源に関する社会・経済的影響及びその不確実性の評価研究、代表者：田中賢治）を受けた研究成果の一部である。ここに記して、感謝を表したい。

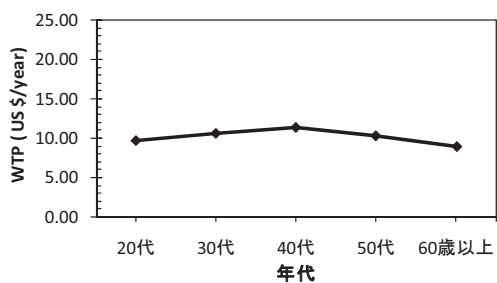
付録



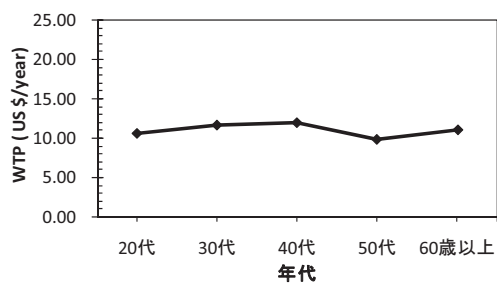
付録-1 リスク削減幅ごとの年代別WTP (20/100,000)



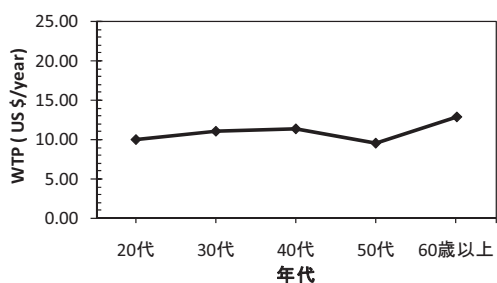
付録-5 リスク削減幅ごとの年代別WTP (20/100,000)



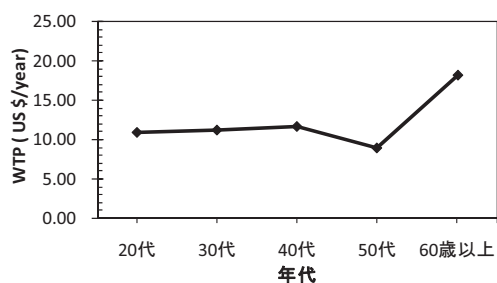
付録-2 リスク削減幅ごとの年代別WTP (40/100,000)



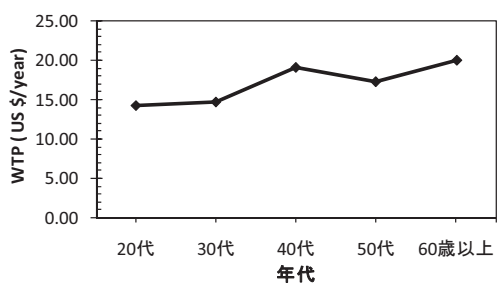
付録-6 リスク削減幅ごとの年代別WTP (40/100,000)



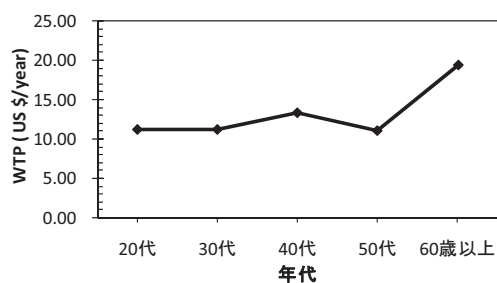
付録-3 リスク削減幅ごとの年代別WTP (60/100,000)



付録-7 リスク削減幅ごとの年代別WTP (60/100,000)



付録-4 リスク削減幅ごとの年代別WTP (80/100,000)



付録-8 リスク削減幅ごとの年代別WTP (80/100,000)

参考文献

- 1) 砂田憲吾, CREST アジア流域水政策シナリオ研究チーム: アジアの流域水問題, 1 章, 技報堂出版, pp.31-52, 2008.
- 2) 渡部徹・三浦尚之・大村達夫: メコン流域における水利用と感染症リスク, モダンメディア, Vol. 53, No.4, 2007.
- 3) Eiji OHNO, Masafumi MORISUGI, Phouphet KYOPHILAVONG and Hiroshi SAO : Measurement of Value of Statistical Life by Evaluating Diarrhea Mortality Risk due to Water Pollution in Laos and Vietnam, Proceedings of the 52nd European Congress of the Regional Science Association International, Refereed Session, Vol.52(USB Disk), 15p, 2012.
- 4) Masafumi MORISUGI, Masayuki SATO, Hiroshi SAO and Eiji OHNO : Aging Economic Development, and Preference for Life-Saving Social Overhead Capital, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, 6p(CD-ROM), 2013.
- 5) 栗山浩一, 岸本充生, 金本良嗣: 死亡リスク削減の経済的評価とスコープテストによる信頼性の検証, 環境経済学ワーキングペーパーNo.0702, 2007.
- 6) Charles Kolstad(細江守紀, 藤田敏之訳): 環境経済学入門, 12 章, 有斐閣, pp.227-253, 2001.
- 7) World Health Organization(WHO) : Department of Measurement and Health Information, 2004.
- 8) 湊隆幸: 事業の意思決定ー基礎理論からリアルオプションの実践までー, 技報堂出版, 2 章, pp.18-21, 2010.
- 9) Schmalensee, Richard : Option Demand and Consumer's Surplus - Valuing Price changes Under Uncertainty -, Amer. Econ. Rev., 62, pp.813-824, 1972.

(2013. 7. 19受付)

PROJECT EVALUATION AND OPTION VALUE OF LIFE-SAVING SOCIAL OVERHEAD CAPITAL IN THE DEVELOPING COUNTRIES

Masayuki SATO, Hiroshi SAO, Masafumi MORISUGI and Eiji OHNO

Mortality risk due to water pollution is one of serious problems especially for Asian developing countries. The timing to carry out a policy or project against such a problem is typical debate issue. With a survey data set in Laos to ask citizens' WTP for mortality risk reduction, we found relative robust relationships between their age and WTP. In a subsequent theoretical study, these relationships are found to be consistent with Option Price Model assuming that the participants don't interest in the world after his death. In this study, we made another step with these analytical results. Following the way of Kolstad to derive Option Value related with Option Price and Expected Surplus, estimates for these indexes are calculated. Outputs of Option Value for each generation show monotonically increasing function with degree of mortality risk reduction and their ages.