社会的意思決定における循環律の解消*
A Dissolution of Circular Logic on Social Choice*

杉浦伸**・木下栄蔵***
By Shin SUGIURA**・Eizo KINOSHITA***

1．はじめに

人々が，意思決定や問題解決をする際はいくつかの代替案を候補として抽出し，選択する．本稿では，代替案となる選択対象が循環し，論理的に優先順位を決定できない状況の解決手法について考察し，その解法を提案する．2章において弱順序性の定義とアローの不可能性定理について説明し，3章では循環問題を2種類に分類する．4章において循環律を解消する数理モデルの構造と解説をする．5章において本稿で説明する循環律の解消の数値例を紹介する．最後に6章において本稿を総括する．

2．弱順序性の定義とアローの不可能性定理 [1)2)]

社会的選択理論における一般不可能性定理としてアローは以下の四つの公理を挙げている．

公理 1―個人選好の無制約性

社会の構成員はすべての選択肢に対してどのような選好順序を表明しても良いことを意味する．

公理 2―パレート最適性

もしもすべての個人が「x は y より好ましい」と表現するなら，社会的決定もこれに従わなければならない．

公理 3―無関係対象からの独立性

ふたつの選択肢 x，y の社会的順序は両者の間の選好にだけ依存し，第三の選択肢 z についての人々の選好からは影響を受けない．

公理 4―非独裁性

社会の構成員の中でただひとりの人物の選好が他のいかなる人々の選好に関わらず，採用されるということがあってはならない．

そして，アローは二人以上の構成員からなる社会が三つ以上の選択肢について社会的決定を行う場合，上記の公理 1 から公理 4 のすべてを満足させる決定方式は存在しないことを証明したのである．

*キーワーズ：計画基礎論，計画手法論
**学生員，都市情報修，名城大学大学院都市情報学研究科
（岐阜県可児市虹ヶ丘四丁目三番地の三，
TEL:0574-69-0100，E-mail:p0681501@urban.meijo-u.ac.jp）
***正員，工博，名城大学都市情報学部都市情報学科
（E-mail:kinoshit@urban.meijo-u.ac.jp）

アローは一般不可能性定理の四公理の前提条件として，社会的意思決定における民主主義の基本条件である以下の弱順序性を定義している．今，「$x \geq_i y$」を「個人 i は x を y よりも選好する（$x \succ_i y$）か，あるいは，両者について無差別である（$x \sim_i y$）」と表現する．弱順序性の定義における反射律，連結律，推移律は次に示す通りである．

反射律―すべての選択肢 x に対し $x \geq_i y$ である．

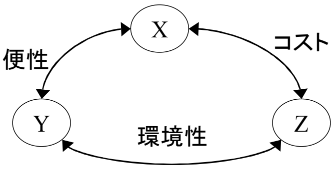
連結律―すべての選択肢 x，y に対して $x \geq_i y$ または $y \geq_i x$ である．

推移律―すべての x，y，z に対し，$x \geq_i y$，$y \geq_i x$ ならば，$x \geq_i z$ である．

以上の定義を前提として一般不可能性定理は成立しているのである．しかし，弱順序性における推移律は多くの場合成立せず，循環問題として人々の意思決定問題や社会的選好問題に出現するのである．次章においてこの循環律を 2 種類に分類する．

3．循環律の分類

本章では意思決定における循環律を二種類に分類し，説明する．循環律は意思決定や問題解決のための代替案である選択対象の優先順位が決定できない状況である．選択対象 X，Y，Z が存在し，それぞれの選好順序が X より Y が選好され（$X \succ Y$），Y より Z が選好され（$Y \succ Z$），X より Z が選考される（$Z \succ X$）場合，選択対象の優先順位が決定できない．このような循環問題が発生する最初の状況は「単純循環律」の場合である．単純循環律は代替案である選択対象を評価するときに特定の選定基準となる評価基準により評価を行っている場合に発生する．特定の評価基準を用いて評価を行った場合の単純循環律の例を図－1 に示す．



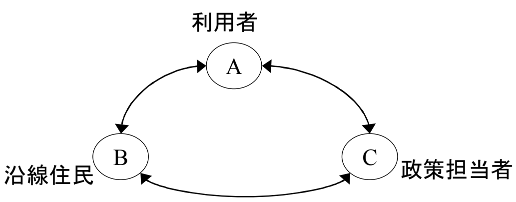
図－１　単純循環律の例

図 - 1 では，ある事業 X，Y，Z のいずれかを選択し実施する場合に X と Y の比較では「利便性」の評価基準を用いて評価を行い，Y と Z の比較では「環境性」の評価基準を用いて評価行い，X と X の比較では「コスト」という評価基準を用いて比較を行っている，このような特定の評価基準だけを取り上げて選択対象を評価する場合は決定の際に循環律が生じることがある．選択対象を評価する際の評価基準には当然トレードオフの関係にあるような基準が用いられることがあるため，循環律が発生しやすい．

また，グー・チョキ・パーと手の形を変えることによって，勝敗を決するじゃんけんは，遊びの場面や順位を決めるために日本では子供のころから使われる手段であるが，この決定方式も単純循環律の例である．まず，グーとチョキにおいてはグーが優越するがこれは，石の「硬さ」がハサミに勝っているということを意味している．チョキとパーにおいてはチョキが優越するが，これはハサミの「鋭利さ」が紙を切断できるからである．パーとグーにおいては，紙がその「広がり」によって石を包み込むことにより優越していることを意味している．つまり，じゃんけんにおける勝敗はそれぞれの手の持つ属性が他の手との比較を行ったときにそれぞれ異なる属性としての評価基準となっているのである．

さらに，ある人が食べ物の選好順位をハンバーグよりカレーライス，カレーライスよりスパゲッティ，スパゲッティよりハンバーグを好むと表明したとする．この場合も単純循環律が発生し，優先順位は決定できない．このような選好順位は評価基準を明示せずに比較を行っているが，暗黙的にそれぞれの評価の際に異なる基準を設けて比較を行っているのである．単純循環律による選好問題は日常生活でも頻繁に起こっているのである．

二種類目の循環律は複数の意思決定者の意見を集約することによって引き起こされる「合成の誤謬による循環律」である．選択対象を決定する意思決定者が複数存在する場合や，意思決定者のおかれている立場が異なる場合に発生する循環律である．個々の意思決定者の選択対象の選好は整合性があるにも関わらず全体としての集約の際に循環律が発生するものである．合成の誤謬による循環律の例を図 - 2 に示す．



図－２　合成誤謬による循環律の例

ある場所で行政の政策として道路建設が行われようとしている．そして，建設する道路の仕様として政策 A，B，C いずれかが実施されようとしている．このとき，この政策の決定に携わる意思決定者として，道路の「利用者」，「沿線住民」，「政策担当者」の三者の立場があるとする．そして，これらの三者は政策について次のような選好を表明したとする．

利用者　$A \succ B$，$B \succ C$

沿線住民　$B \succ C$，$C \succ A$

政策担当者　$C \succ A$，$A \succ B$

この場合，政策 A と政策 B については利用者と政策担当者の選好により $A \succ B$ となり，政策 B と政策 C については利用者と沿線住民の選好より $B \succ C$ となり，政策 C と政策 A については沿線住民と政策担当者の選好により $C \succ A$ となり，政策 A，B，C について循環律となっており優先順位はおろか選好順序が決定できないのである．この例はいわゆる投票のパラドックスとして古くから知られているもので，個人の選好は整合性が保たれているが，全体を合成すると循環問題が生じるものである．そのため，意思決定者である個人や立場の違いによる意見表明の集約が結果として循環律となっている場合は合成の誤謬による循環律と呼ぶことができる．そして，このような合成の誤謬による循環律は土木計画や政策決定の場では必ず起きるのである．本章で二種類に分類した循環律が起こる原因としては選択対象の評価を選好の大小，好むか好まないかの関係で判断しているためである．選択対象の評価を定量的に行えるならば，上記の循環律が解消できることを次章で明らかにし，その解消手法の構造を解説する．

４．循環律の解法 [5)]

本章では循環律を解決するための手法について説明する．評価者あるいは評価基準 i（i=1，2，3）によって与えられた選択対象（代替案）X，Y，Z の評価値を

$$M = \begin{bmatrix} M_1^X & M_2^X & M_3^X \\ M_1^Y & M_2^Y & M_3^Y \\ M_1^Z & M_2^Z & M_3^Z \end{bmatrix} \tag{1}$$

とする．つづいて（2）式を本稿で示す解法の定義とする．

定義

$$M_i^{XY} = \frac{M_i^Y}{M_i^X} \tag{2}$$

この定義は評価者あるいは評価基準 i において，選択対

象 Y と選択対象 X の評価の比を導出していることを意味している．本手法では，この評価値の比を用いることによって，選択対象の優先順位を決定する．評価値の比を表現した定義と以下に示す定理 1～定理 4 によって後に示す命題が導かれる．

定理 1　反射性

$$M_i^{XX} = 1 \tag{3}$$

反射性の証明

$$M_i^{XX} = \frac{M_i^X}{M_i^X} = 1$$

（証明終わり）

定理 2　対称性

$$M_i^{XY} = \frac{1}{M_i^{YX}} \tag{4}$$

対象性の証明

$$M_i^{XY} = \frac{M_i^Y}{M_i^X} = \frac{1}{\dfrac{M_i^X}{M_i^Y}} = \frac{1}{M_i^{YX}}$$

（証明終わり）

定理 3　連結推移性

$$M_i^{XY} \cdot M_i^{YZ} = M_i^{XZ} \tag{5}$$

連結推移性の証明

$$M_i^{XY} \cdot M_i^{YZ} = \frac{M_i^Y}{M_i^X} \cdot \frac{M_i^Z}{M_i^Y} = \frac{M_i^Z}{M_i^X} = M_i^{XZ}$$

（証明終わり）

定理 4　評価値の収束性

最初に与えられた選択対象の評価値である（1）式から（2）式の定義に基づいて初期値として

$$(M_1, M_2, M_3) = \begin{bmatrix} M_1^{XX} & M_2^{YX} & M_3^{ZX} \\ M_1^{XY} & M_2^{YY} & M_3^{ZY} \\ M_1^{XZ} & M_2^{YZ} & M_3^{ZZ} \end{bmatrix} \tag{6}$$

を導出する．つづいて M_1，M_2，M_3 の各要素である選択対象X，Y，Zの評価値で M_1，M_2，M_3 をそれぞれ除した幾何平均 $\widetilde{M}_i$ を導出する[1]．得られた $\widetilde{M}_i$ を改めて（6）式の M_i としてこの手順を繰り返すと $\widetilde{M}_i$ は,

$$(\overline{M}_1, \overline{M}_2, \overline{M}_3) = \begin{bmatrix} \sqrt[3]{M_1^{XX} \cdot M_2^{XX} \cdot M_3^{XX}} & \sqrt[3]{M_1^{YX} \cdot M_2^{YX} \cdot M_3^{YX}} & \sqrt[3]{M_1^{ZX} \cdot M_2^{ZX} \cdot M_3^{ZX}} \\ \sqrt[3]{M_1^{XY} \cdot M_2^{XY} \cdot M_3^{XY}} & \sqrt[3]{M_1^{YY} \cdot M_2^{YY} \cdot M_3^{YY}} & \sqrt[3]{M_1^{ZY} \cdot M_2^{ZY} \cdot M_3^{ZY}} \\ \sqrt[3]{M_1^{XZ} \cdot M_2^{XZ} \cdot M_3^{XZ}} & \sqrt[3]{M_1^{YZ} \cdot M_2^{YZ} \cdot M_3^{YZ}} & \sqrt[3]{M_1^{ZZ} \cdot M_2^{ZZ} \cdot M_3^{ZZ}} \end{bmatrix} \tag{7}$$

に収束し，$\overline{M}_i$（i=1，2，3）における選択対象 X，Y，Z の評価値の比は唯一となる．

評価値の収束証明

定理 4 の（6）式の M_1，M_2，M_3 における各要素である選択対象 X，Y，Z の評価値で M_1，M_2，M_3 を除しその幾何平均をとる（付録　演算の一覧参照）．幾何平均により新たに

$$(\widetilde{M}_1, \widetilde{M}_2, \widetilde{M}_3) = \begin{bmatrix} \sqrt[3]{M_1^{XX} \cdot M_2^{XX} \cdot M_3^{XX}} & \sqrt[3]{M_1^{YX} \cdot M_2^{YX} \cdot M_3^{YX}} & \sqrt[3]{M_1^{ZX} \cdot M_2^{ZX} \cdot M_3^{ZX}} \\ \sqrt[3]{M_1^{XY} \cdot M_2^{XY} \cdot M_3^{XY}} & \sqrt[3]{M_1^{YY} \cdot M_2^{YY} \cdot M_3^{YY}} & \sqrt[3]{M_1^{ZY} \cdot M_2^{ZY} \cdot M_3^{ZY}} \\ \sqrt[3]{M_1^{XZ} \cdot M_2^{XZ} \cdot M_3^{XZ}} & \sqrt[3]{M_1^{YZ} \cdot M_2^{YZ} \cdot M_3^{YZ}} & \sqrt[3]{M_1^{ZZ} \cdot M_2^{ZZ} \cdot M_3^{ZZ}} \end{bmatrix} \tag{8}$$

がそれぞれ導出され，得られた $\widetilde{M}_i$ を改めて M_i として収束するまでこの手順を繰り返す．今，（8）式で得られた $\widetilde{M}_i$ を第 t 期の導出値とする．すると，第 n+1 期における i=2 の選択対象 X の導出値は

$$\sqrt[3]{\sqrt[3]{M_1^{YX} \cdot M_2^{YX} \cdot M_3^{YX}} \cdot \frac{\sqrt[3]{M_1^{XX} \cdot M_2^{XX} \cdot M_3^{XX}}}{\sqrt[3]{M_1^{XY} \cdot M_2^{XY} \cdot M_3^{XY}}} \cdot \frac{\sqrt[3]{M_1^{ZX} \cdot M_2^{ZX} \cdot M_3^{ZX}}}{\sqrt[3]{M_1^{ZY} \cdot M_2^{ZY} \cdot M_3^{ZY}}}}$$

$$= \sqrt[3]{\sqrt[3]{M_1^{YX} \cdot M_2^{YX} \cdot M_3^{YX}} \cdot \sqrt[3]{M_1^{YX} \cdot M_2^{YX} \cdot M_3^{YX}} \cdot \sqrt[3]{M_1^{YX} \cdot M_2^{YX} \cdot M_3^{YX}}}$$

$$= \sqrt[3]{M_1^{YX} \cdot M_2^{YX} \cdot M_3^{YX}}$$

となり，第 t 期の i=2 の選択対象 X と同値である．このことは i=1，2，3 のすべての選択対象 X，Y，Z について同様に導ける．ゆえに M_1，M_2，M_3 は（7）式として収束する．また，（7）式の収束した $\overline{M}_i$（i=1，2，3）における選択対象 X，Y，Z の評価値の比は明らかに唯一である．（証明終わり）

以上の定義および定理 1～定理 4 から以下の命題を得る．

本命題は，個人 1，2，3 が選択対象 X，Y，Z についてそれぞれ $X \succ_1 Y \succ_1 Z$，$Y \succ_2 Z \succ_2 X$，$Z \succ_3 X \succ_3 Y$ という選好を示した状況，いわゆる投票のパラドックスにおいては循環関係が生じ選択対象 X，Y，Z の優先順位を決定できないが，選択対象 X，Y，Z に関する評価値の存在によって必ず選好の優先順位がつけられることを保証している．

つまり個人 1，2，3 が選択対象 X，Y，Z に対して評価値を与え，それらが $M_1^X > M_1^Y > M_1^Z$，$M_2^Y > M_2^Z > M_2^X$，$M_3^Z > M_3^X > M_3^Y$ となり，評価値に循環関係が生じているとしても，評価の比率を用いた本手法により必ず優先順位の決定が行えることを示している．

[1] 平均については幾何平均，算術平均などが考えられるが本稿では幾何平均の場合を記述した．平均値の導出によって異なる選択対象の評価値を収束させ，意見の均衡点を導いている．

命題

定義：$M_i^{XY}=\dfrac{M_i^Y}{M_i^X}$ のもとで，評価者あるいは評価基準 i（i=1，2，3）によって評価された選択対象（代替案）X，Y，Z の評価値

$$M=\begin{bmatrix} M_1^X & M_2^X & M_3^X \\ M_1^Y & M_2^Y & M_3^Y \\ M_1^Z & M_2^Z & M_3^Z \end{bmatrix}$$ は

$$(\overline{M}_1,\overline{M}_2,\overline{M}_3)=$$

$$\begin{bmatrix} \sqrt[3]{M_1^{XX}\cdot M_2^{XX}\cdot M_3^{XX}} & \sqrt[3]{M_1^{YX}\cdot M_2^{YX}\cdot M_3^{YX}} & \sqrt[3]{M_1^{ZX}\cdot M_2^{ZX}\cdot M_3^{ZX}} \\ \sqrt[3]{M_1^{XY}\cdot M_2^{XY}\cdot M_3^{XY}} & \sqrt[3]{M_1^{YY}\cdot M_2^{YY}\cdot M_3^{YY}} & \sqrt[3]{M_1^{ZY}\cdot M_2^{ZY}\cdot M_3^{ZY}} \\ \sqrt[3]{M_1^{XZ}\cdot M_2^{XZ}\cdot M_3^{XZ}} & \sqrt[3]{M_1^{YZ}\cdot M_2^{YZ}\cdot M_3^{YZ}} & \sqrt[3]{M_1^{ZZ}\cdot M_2^{ZZ}\cdot M_3^{ZZ}} \end{bmatrix}$$

に収束し，$\overline{M}_i$ における選択対象（代替案）X，Y，Z の評価の比はすべて同値となり，優先順位は一意に定まる．

５．循環律の解消の例

2 章において社会的意思決定における循環律を 2 種類に分類した．本章では，前章で解説した循環律の解法の具体的な数値例を示す．

最初の循環律である単純循環律について紹介する．ある地域においてプロジェクト X，Y，Z が行われることになったこのときプロジェクト X，Y，Z を「利便性」，「環境性」，「コスト」の評価基準で評価した結果，表 - 1 に示すようになった．

表－１　プロジェクトの評価

	利便性	環境性	コスト
プロジェクトX	60		40
プロジェクトY	50	50	
プロジェクトZ		30	70

表 - 1 から X，Y については利便性について評価されており（X>Y），Y，Z については環境性について評価されており（Y>Z），X，Z についてコストによって評価されている（Z>X）．特定の評価基準の評価によって単純循環律となっている．また，各プロジェクトの評価を合計すると，

プロジェクトX・・・60+40＝100
プロジェクトY・・・50+50＝100
プロジェクトZ・・・30+70＝100

となっている．すべてのプロジェクトの評価値は合計 100 であり，優先順位が決定できない．オペレーションズ・リサーチや土木計画学の手法として，代替案の評価，選定を行い，意思決定を行う代表的な数学的モデルに AHP[3)4)]があるが，こうした状況では用いることが不可能である [6)]．そのため本稿はこうした循環律を解消し選択対象の優先順位を決定できる点で有効である．

ここで改めて表 - 1 に注目すると便性と環境性の二つの評価基準にはプロジェクト Y が共通していることが分かる．そのため，（2）式の定義に基づいてプロジェクト Y の評価を基準にして評価値を 1 にそろえると（9）式が得られる．

$$M_Y=\begin{array}{c} X \\ Y \\ Z \end{array}\begin{bmatrix} 1.2 \\ 1 \\ 0.6 \end{bmatrix} \qquad (9)$$

同様にして，環境性とコストの評価にはプロジェクト Z が共通しており，利便性とコストの評価にはプロジェクト X が共通している．（9）式の導出と同様にそれぞれのプロジェクトの評価を基準にして評価値を 1 にそろえると（10）式，（11）式が得られる．

$$M_Z=\begin{array}{c} X \\ Y \\ Z \end{array}\begin{bmatrix} 0.571 \\ 1.667 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (10)$$

$$M_X=\begin{array}{c} X \\ Y \\ Z \end{array}\begin{bmatrix} 1 \\ 0.833 \\ 1.75 \end{bmatrix} \qquad (11)$$

よって，（9）～（11）式から本手法によって，（12）式が収束値として得られる．

$$(M_X,M_Y,M_Z)=\begin{bmatrix} 1 & 0.790 & 0.867 \\ 1.265 & 1 & 1.098 \\ 1.153 & 0.911 & 1 \end{bmatrix} \qquad (12)$$

（12）式における M_i（i=X，Y，Z）のプロジェクト X，Y，Z の比は唯一である．列和を 1 に正規化すると

$$M=\begin{array}{c} X \\ Y \\ Z \end{array}\begin{bmatrix} 0.293 \\ 0.370 \\ 0.337 \end{bmatrix} \qquad (13)$$

となり，プロジェクト X，Y，Z の優先順位はプロジェクトY（0.370）＞プロジェクトZ（0.337）＞プロジェクトX（0.293）と決定されるのである．

つづいて，合成の誤謬による循環律の例を紹介する．ある地域において道路を建設する際の仕様として政策 A，B，C を決定することになった．このとき，意思決定者として道路の「利用者」，「沿線住民」，「政策担当者」の三者がこの政策 A，B，C を表 - 2 のようにそれぞれ評価したとする．

表－２　三者の立場による政策評価

	利用者	沿線住民	政策担当者
政策A	90	40	70
政策B	65	85	50
政策C	45	80	75

表 - 2 から利用者の評価は A（90）＞B（65）＞（45）であり，沿線住民の評価は B（85）＞C＞（80）＞A（40）であり，政策担当者の評価は C（75）>A（70）>B（50）となっており，全体として循環律となっていることがわかる．また，政策 A，B，C について三者の立場の評価値を合計すると，

政策A・・・90+40+70＝200

政策B・・・65+85+50＝200

政策C・・・45+80+75＝200

となっている．いずれの政策も評価値の合計が 200 となり優先順位の決定ができないのである．

政策 A，B，C の優先順位の決定のために本手法を適用する．表 - 2 から政策 A，B，C の評価値として（14）式が得られる

$$M = \begin{array}{c} A \\ B \\ C \end{array}\begin{bmatrix} 90 & 40 & 70 \\ 65 & 85 & 50 \\ 45 & 80 & 75 \end{bmatrix} \tag{14}$$

そして，（2）式の定義から（6）式に対応する初期値として（15）式が導出される．

$$(M_{\text{利用者}}, M_{\text{沿線住民}}, M_{\text{政策担当者}}) = \begin{array}{c} A \\ B \\ C \end{array}\begin{bmatrix} 1 & 0.471 & 0.933 \\ 0.722 & 1 & 0.667 \\ 0.5 & 0.941 & 1 \end{bmatrix} \tag{15}$$

そして，（15）式の評価値から収束値として（16）式が得られる．

$$(M_{\text{利用者}}, M_{\text{沿線住民}}, M_{\text{政策担当者}}) = \begin{bmatrix} 1 & 0.970 & 0.977 \\ 1.031 & 1 & 1.008 \\ 1.023 & 0.922 & 1 \end{bmatrix} \tag{16}$$

が収束値として得られる．（16）式は評価値の比は唯一であり，列和を 1 に正規化して表現するといずれも

$$M = \begin{array}{c} A \\ B \\ C \end{array}\begin{bmatrix} 0.327 \\ 0.338 \\ 0.335 \end{bmatrix} \tag{17}$$

となっている．

そのため，政策B（0.338）＞政策C（0.335）＞政策A（0.327）と優先順位の決定できる．本章で示した数値例は選択対象が循環律となっている例であるが，本稿で示した手法により定量的に与えられた評価値の比により必ず優先順位付けが行えるのである．

６．おわりに

本稿では，2 章において社会的選択理論でアローの不可能性定理の定義である弱順序性における推移律は必ずしも整合せず，意思決定や社会的選択では循環律が存在することを指摘した．そして，3 章において社会的選択における循環律を評価基準の評価に依存して発生する「単純循環律」と，複数の意思決定者の選好が個別には整合がとれていても全体として合成することで発生する「合成の誤謬による循環律」の 2 種類に分類した．そして，4 章において選択対象を定量的に与えられた評価値の比により優先順位付けを行う手法について述べ，そのモデルの構造を解説した．5 章において具体的な数値例を挙げ，本手法の有効性を示した．

意思決定や土木計画の場においては利害関係の対立による見解の違いから政策や評価に循環律が発生することが多い，その構造を明らかにし，循環律を解決できる点で本稿で紹介した手法は有効である．

実際に循環律が存在する場合，本稿で挙げた例を拡張するための要点を以下に 3 つ挙げておく．

1. 循環律が発生し，対象の優先度や順位が決定できない場合は何か別の基準を新たに用意し，優劣を判定する別の要素を取り入れる．
2. 問題を解決する際は，選択対象の単純な大小関係や選好だけでは優先度や順位の判定が難しいので，できる限り定量的な尺度を用いて評価を行う．
3. 循環律が発生しても，それも対象の評価であると受けとめ，循環律部分を切り離し別の視点から再度評価を行うか，循環律を排除した意思決定モデルを使用する．

本稿が今後，土木計画学における政策の計画，実施評価に貢献できれば幸いである．

参考文献

1) Arrow, K, J : Social Choice and Individual Values, Yale University Press, 1951.
2) 佐伯胖：「きめ方」の論理，東京大学出版会，1980.
3) 木下栄蔵：よくわかる AHP 孫子の兵法の戦略モデル，オーム社，2006.
4) 木下栄蔵：入門 AHP，日科技連，2000.
5) 杉浦伸，木下栄蔵：評価値一斉法の提案，土木計画学研究・論文集Vol.21，pp.33-40，2004.
6) 杉浦伸，木下栄蔵：評価値一斉法を用いた循環律の解法，都市情報学研究No.10，pp.115-121，2005.

付録　演算の一覧

ステップ1		
$M_1=\begin{bmatrix} M_1^{XX} \\ M_1^{XY} \\ M_1^{XZ} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{M_1^{XX}}{M_1^{XY}} \\ \frac{M_1^{XY}}{M_1^{XY}} \\ \frac{M_1^{XZ}}{M_1^{XY}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{M_1^{XX}}{M_1^{XZ}} \\ \frac{M_1^{XY}}{M_1^{XZ}} \\ \frac{M_1^{XZ}}{M_1^{XZ}} \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} \frac{M_2^{YX}}{M_2^{YX}} \\ \frac{M_2^{YY}}{M_2^{YX}} \\ \frac{M_2^{YZ}}{M_2^{YX}} \end{bmatrix}$	$M_2=\begin{bmatrix} M_2^{YX} \\ M_2^{YY} \\ M_2^{YZ} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{M_2^{YX}}{M_2^{YZ}} \\ \frac{M_2^{YY}}{M_2^{YZ}} \\ \frac{M_2^{YZ}}{M_2^{YZ}} \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} \frac{M_3^{ZX}}{M_3^{ZX}} \\ \frac{M_3^{ZY}}{M_3^{ZX}} \\ \frac{M_3^{ZZ}}{M_3^{ZX}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{M_3^{ZX}}{M_3^{ZY}} \\ \frac{M_3^{ZY}}{M_3^{ZY}} \\ \frac{M_3^{ZZ}}{M_3^{ZY}} \end{bmatrix}$	$M_3=\begin{bmatrix} M_3^{ZX} \\ M_3^{ZY} \\ M_3^{ZZ} \end{bmatrix}$
ステップ2		
$\widetilde{M}_1=\begin{bmatrix} \sqrt[3]{M_1^{XX}\cdot\frac{M_2^{YX}}{M_2^{YX}}\cdot\frac{M_3^{ZX}}{M_3^{ZX}}} \\ \sqrt[3]{M_1^{XY}\cdot\frac{M_2^{YY}}{M_2^{YX}}\cdot\frac{M_3^{ZY}}{M_3^{ZX}}} \\ \sqrt[3]{M_1^{XZ}\cdot\frac{M_2^{YZ}}{M_2^{YX}}\cdot\frac{M_3^{ZZ}}{M_3^{ZX}}} \end{bmatrix}$ $=\begin{bmatrix} \sqrt[3]{M_1^{XX}\cdot M_2^{XX}\cdot M_3^{XX}} \\ \sqrt[3]{M_1^{XY}\cdot M_2^{XY}\cdot M_3^{XY}} \\ \sqrt[3]{M_1^{XZ}\cdot M_2^{XZ}\cdot M_3^{XZ}} \end{bmatrix}$	$\widetilde{M}_2=\begin{bmatrix} \sqrt[3]{M_2^{YX}\cdot\frac{M_1^{XX}}{M_1^{XY}}\cdot\frac{M_3^{ZX}}{M_3^{ZY}}} \\ \sqrt[3]{M_2^{YY}\cdot\frac{M_1^{XY}}{M_1^{XY}}\cdot\frac{M_3^{ZY}}{M_3^{ZY}}} \\ \sqrt[3]{M_2^{YZ}\cdot\frac{M_1^{XZ}}{M_1^{XY}}\cdot\frac{M_3^{ZZ}}{M_3^{ZY}}} \end{bmatrix}$ $=\begin{bmatrix} \sqrt[3]{M_1^{YX}\cdot M_2^{YX}\cdot M_3^{YX}} \\ \sqrt[3]{M_1^{YY}\cdot M_2^{YY}\cdot M_3^{YY}} \\ \sqrt[3]{M_1^{YZ}\cdot M_2^{YZ}\cdot M_3^{YZ}} \end{bmatrix}$	$\widetilde{M}_3=\begin{bmatrix} \sqrt[3]{M_3^{ZX}\cdot\frac{M_1^{XX}}{M_1^{XZ}}\cdot\frac{M_2^{YX}}{M_2^{YZ}}} \\ \sqrt[3]{M_3^{ZY}\cdot\frac{M_1^{XY}}{M_1^{XZ}}\cdot\frac{M_2^{YY}}{M_2^{YZ}}} \\ \sqrt[3]{M_3^{ZZ}\cdot\frac{M_1^{XZ}}{M_1^{XZ}}\cdot\frac{M_2^{YZ}}{M_2^{YZ}}} \end{bmatrix}$ $=\begin{bmatrix} \sqrt[3]{M_1^{ZX}\cdot M_2^{ZX}\cdot M_3^{ZX}} \\ \sqrt[3]{M_1^{ZY}\cdot M_2^{ZY}\cdot M_3^{ZY}} \\ \sqrt[3]{M_1^{ZZ}\cdot M_2^{ZZ}\cdot M_3^{ZZ}} \end{bmatrix}$

社会的意思決定における循環律の解消*

杉浦伸**・木下栄蔵***

意思決定や問題解決のための選択対象（代替案）の選択においては，選択対象の評価が循環し決定ができない状態が存在する．本論文では，社会的選択における循環を"単純循環律"と"合成の誤謬による循環律"の2種類に分類している．そして，意思決定における循環律を解消する手法を紹介し，その構造と有効性について解説している．

A Dissolution of Circular Logic on Social Choice*

By Shin SUGIURA**・Eizo KINOSHITA***

On decision making or solving problems, there are cases that alternatives make up circular logic (contradiction). In this pape r, we classify circular logic on social choice in two kinds, "simple circular logic" and "circular logic by fallacy of compositio n". We show dissolution method of circular logic on social choice and its mathematical structure and availability.