

広域的水利用における市町村提携に関する一考察*

Coalition Formation in Municipalities for Area-wide Water Utilization

萩原良巳^{**}，渡辺晴彦^{***}

1. はじめに

広域水道や流域下水道に代表される水利用の広域化は、それぞれ水源の確保・河川汚濁防止を主目的として計画される。この計画の第1ステップは、どの地域を対象とするか、言い換えれば、どの市町村をまとめて事業化するかという検討であろう。従来の広域化事業においては、このような対象地域は与件とされることが多かったが、将来に向けて新たに事業に参加したりする場合について事前に検討した例は少なく、広域計画の柔軟性については十分な分析がなされているとは言えない。このような状況に対し、予め広域化の対象となる地域の市町村の結びつきを把握し、どのような市町村がまとまりうるか、すなわち、市町村間の提携の可能性について分析しておくことは、将来の計画修正のために重要な情報となる。

本研究では、広域水道を対象としたときにこの市町村提携の可能性について分析する1つの方法論を提示する。ここで市町村提携が可能となる背景には、まずもともと地理的歴史的に一体となっているという素地があり、そのうえで提携を形成することによるメリットが認められるという2つの条件があると考ええる。前者の条件は、将来にむけて想定しうる市町村提携は現況の市町村の結びつき方に依存して案を抽出できるといふ仮説である。本研究では、市町村の結びつきをグラフとしてとらえ、その解釈を通して修正したものから部分グラフとしての提携案を網羅的に抽出する方法を示し、ケーススタディによりその適用性を考察する。一方、後者の条件は、可能であるとみなされた提携案の中からいずれが選択されるかは、提携による効果を比較して行なわれるという仮説である。ここで効果として何らかの評価指標が必要となり、市町村にとって提携に参加することが自己にどのような影響を与えるか、それと同時に他の市町村に対しどのような立場にあるかを分析する必要がある。本研究では、評価指標として市町村が享受する水価をとりあげ、これをベイオフとして市町村をプレイヤーとした協力ゲームとして提携の形成をモデル化し、ゲームにおけるプレイヤーの機能を分析する方法を提示する。

2. 市町村提携案抽出プロセス

(1) 提携の概念と個数

本研究では、まず、提携という言葉在市町村が何らかの形で結びつくことという簡単な定義で用いることとする。従って、その構成市町村が提携の属性である。ゲーム理論における協力 n 人ゲームの記述に従えば、プレイヤーの集合 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ に対し、その部分集合 $S \subset N$ を提携 (coalition) と呼ぶ。プレイヤーの結びつきに制限が無ければ、考える提携は $nC_1 + nC_2 + \dots + nC_n = 2^n - 1$ とおり存在し、任意のプレイヤーの参加する提携は、 $n-1C_0 + n-1C_1 + \dots + n-1C_{n-1} = 2^{n-1}$ とおりである。プレイヤーが10人もいれば、その参加できる提携は500を超える数となる。

しかし、水道広域化における提携には次のような制限がつけられる。つまり、1つの提携を構成する市町

* キーワード：広域水利用、ゲーム理論、グラフ理論、提携

** Yoshimi HAGIHARA, 正会員 工博 日本水道コンサルタントシステム開発室

*** Haruhiko WATANABE, 正会員 日本水道コンサルタントシステム開発室

村が地理的に連結しているときのみ提携可能であり、飛び地を結びつけることはない。これは、施設の建設を意図した条件であり、このため提携の数はかなり絞り込まれる。今、市町村を点、地理的隣接を枝としたグラフが与えられたとする。市町村 i から k 個以内のパスで到達できる市町村の集合を T_{ik} とし、その大きさを $|T_{ik}|$ と表わそう。 T_{ik} は、グラフの隣接行列 A に対し、ブール代数演算による行列としての A^k の i 行をみれば得られ、最大の k は、これを $\hat{k}$ とすると $A^{\hat{k}+1} = A^{\hat{k}}$ となる最初の $\hat{k}$ である。これから、市町村 i にとって可能な提携数は、 $1 + |T_{i1}|C_1 + |T_{i2}|C_2 + \cdots + |T_{i\hat{k}}|C_{\hat{k}}$ となる。ふつう、 T_{ik} は $T_{ik} \subset T_{i, k+1}$ であり、 $T_{i\hat{k}} = N - \{i\}$ となるため、 $|T_{i\hat{k}}| < n - 1$ が成り立つ。このため、市町村 i の提携数は、 2^{n-1} よりかなり少なくなることが想像できる。

一般に、任意のグラフが与えられたとき、その部分グラフとしての提携の総数は、点の数 n と枝の数に依存する。市町村が多くなり隣接関係が複雑になれば、市町村提携の可能数が級数的に増加する。従って、その2要因がそれぞれ少く単純になれば、可能な提携数は級数的に減少する。本研究では、そのことを利用して、数を絞りながら可能な提携案を抽出する方法について考察する。

(2) 提携案の抽出

たとえば、図-1 に示すような5つの市町村の隣接関係が与えられれば、そこで可能な提携は図-2 に示した Hasse 図の形で整理することができる。この場合は26通りの提携が可能であり、隣接関係の制限のない場合の31 ($= 2^5 - 1$) より5減っている。さらに図-1 の①-③の関係が無ければ、図-2 の*の提携がふるい落とされ、22通りとなる。また、②が無いとすると、図-2 の△の提携が減り12通りまで減少する。この2つの手順、枝の除去・点の省略によりグラフを修正し、対応する Hasse 図を作成し提携案を抽出する方法について述べる。

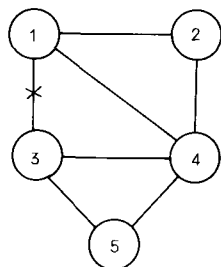


図-1 市町村ネットワーク例

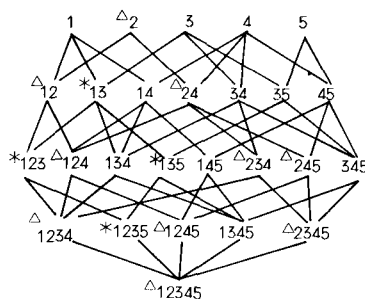


図-2 Hasse図

まず、対象とする市町村の設定により、グラフの点集合 V を設定する。次に、市町村の行政区界の関係を地図から読みとり、グラフの枝集合 R を得る。グラフ (V, R) の隣接行列を求め、これをもとに点集合・枝集合の大きさを減らしていく。

a) 結びつかない市町村の設定 (枝集合の修正：開放除去)

対象市町村の隣接関係は、単に行政区界を共有していることしか示さない。しかし、地形的には山地部に境界があったり、河川を境界としたりする。このことは、水道広域化を施設 (とりわけ導送水路) の建設を前提にした場合、それぞれトンネルや橋梁を必要とすることになり、技術的費用的に不利になるケースが考えられる。このような場合は、隣接していないとみなし、グラフの枝を除去する。

また、隣接関係の存在は提携として2市町村のまとまりを仮定することになるが、市町村によっては、互いに他と結びつくことを志向し、それらだけの提携は将来的にも可能性がないこともある。このような場合も、グラフの枝を除去する。かかる情報は、市町村へのヒアリングやアンケート調査により収集することが可能であろう。

枝の除去は、隣接行列のうえでは、「1」の要素の省略に該当する。このため、開放除去 (opencircuit) を行なったグラフを得る。

b) 一体となる市町村の設定（点集合の修正：短絡除去）

これまで、各市町村をグラフにおける1つの点としてとらえていた。これに対し、市町村の中には、すでに何らかのグループを形成し、その形態を保存して水道広域化を行ないたい場合もある。これは、水道事業が企業団を形成していたり、ごみ処理・し尿処理・ガス供給などの事業に関し共同で運営するなどの現行制度にもとづくものである。このような状況は、市町村の一体性を表わすもので、広域水道もその制度に即した形でとり込まれることが、事業経営の面から有利であると考えられる。従って、かかる市町村を分離した提携は実現性に乏しく、予め一体とみなしておくことが必要である。

市町村を一体とみなすことは、点をまとめて1つにすることであり、隣接行列の行（列）を減らすことになる。点の縮約を行なうことは、グラフの上では、枝を短絡除去（shortcircuit）する。

現行制度による市町村の一体化の他に、対象とする市町村のうちの一部に焦点をあて、それら間での提携が対象とする地域でのプロトタイプとなるような代表市町村に限定することも、点集合の修正となる。

さて、以上の検討により得られた隣接グラフにもとづきHasse図を作成すれば、可能な提携が網羅的に抽出される。これは、単独の場合から、全体が1つとなる場合までの全てを抽出するものである。しかしながら、市町村によっては、単独では不都合なところもある。このようなケースでは、単独案を捨象するばかりでなく、そのような単独案を前提とするような他の提携案も同時に捨象する。これは、たとえば、図-1において⑤が単独となるのが不都合な場合に、③-④の提携をも捨象することを意味する。さらに、提携案の中には、市町村が何らかの理由で不都合であるとするものもあると考えられることから、市町村へのヒアリングの情報はこの段階でも生かされる。

最終的に残った提携案に対しては、当初イメージを持っていた提携が含まれているかどうかのチェックを行う必要がある。もし、漏れている案があれば、それがこれまでのどの段階で捨象されたかを明らかにし、それを復活させるように、枝・点の修正条件を変更する。

これまで述べた分析のプロセスを図-3に示す。このプロセスは、網羅性のチェックを中心に数回繰り返すことが望ましい。これは、プロセスが提携案の抽出と同時に、対象地域の市町村の一体性を明らかにすることを狙っているためである。市町村へのヒアリングや制度の調査は、必要に応じて行くとともに、その情報が提携案の抽出に対し新たな視点を引き出すこともあるので、プロセスの各段階で十分に活用すべきである。

3. 市町村提携案評価プロセス

(1) 提携における市町村の機能

図-1のプロセスを繰り返して得られた提携案の集合を $\mathcal{S} = \{S \subseteq N \mid N \ni i\}$ とする。任意の市町村 i

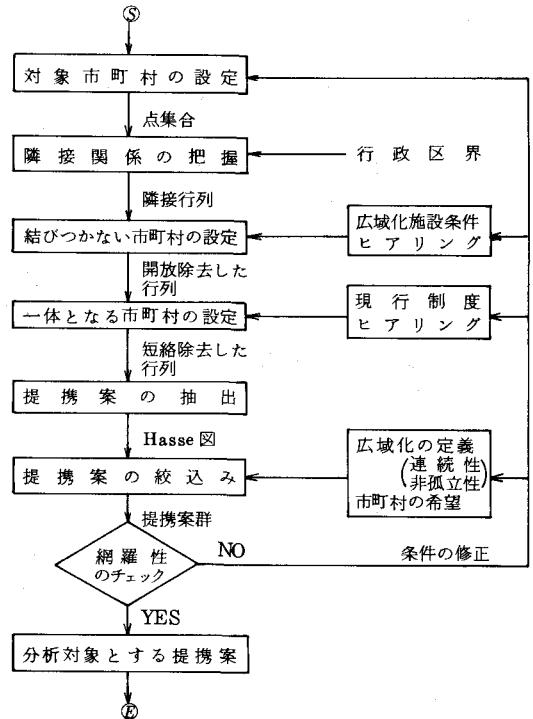


図-3 提携案の抽出プロセス

が参加できる提携の集合を $\mathfrak{B}(i) = \{S \subset N | i \in S\}$ と書く。提携 $S \in \mathfrak{B}$ により、 $i \in S$ となる市町村は $v(S)$ という影響を受けるものとし、 $v(S)$ が少いほど良いと仮定する。市町村 i としては、 $\min_{S \in \mathfrak{B}(i)} v(S)$ となる提携 S が最良である。ある提携がその構成市町村すべてにとって最良であり、これ以外の市町村は別の提携においてすべて最良であるとするような提携があれば、提携案の選択は一意に決まる。しかしながら、このような状況は生じないことが多い。つまり、市町村にとって好ましい提携が一致するとは限らない。このため、各市町村が、このような提携の形成において、 $v(S)$ の変化にどのような役割を果たしているかを分析し、一致しない場合にどの市町村の意向が重視されるかについて考察する必要がある。ここで言う市町村の役割とは、市町村が提携に参加することによる $v(S)$ の変化と、任意の2つの市町村の間で互いに他と組んだときの $v(S)$ の変化から、それぞれ、参加の意義や市町村間の提携相手としての好ましさを把握する。

a) 提携へ市町村が参加することの意義

まず、提携の間の望ましさを差による関連構造を次のように求める。 $S \in \mathfrak{B}$ に対し付番をし $S^k (k=1 \cdots |\mathfrak{B}|)$ とする。 $v(S^k)$ に対し、次の行列 $B = (b_{kk'})$ を定義する。

$$b_{kk'} = \begin{cases} 1 & S^k = S^{k'} - \{i\} \text{ あるいは } S^k = S^{k'} + \{i\}, \text{ かつ } v(S^k) < v(S^{k'}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

この行列要素 $b_{kk'}$ は、提携 S^k と $S^{k'}$ が Hasse 図上で隣接し、 S^k が $S^{k'}$ より好ましい場合に 1 となる。行列 B から、提携間関連構造が図-4 のように得られる。

一方、 $b_{kk'} = 1$ となる時に関与した市町村について S^k が $S^{k'}$ より好ましくなるのが、 i の加除いずれによるのかを次の行列 $C = (C_{kk'})$ で示す。

$$C_{kk'} = \begin{cases} +i & S^k = S^{k'} + \{i\} \text{ かつ } v(S^k) < v(S^{k'}) \\ -i & S^k = S^{k'} - \{i\} \text{ かつ } v(S^k) < v(S^{k'}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

この行列 C 上で $+i$ が多いことは、市町村 i の提携参加は提携の影響を改良し、 $-i$ が多いことは、改悪するということになる。結果は、図-4 に併記したようになる。この場合、市町村①・②・④は改良型、市町村③は改悪型の参加の意義をもつ。

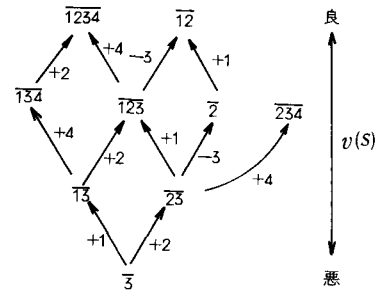


図-4 好ましきによる提携間関連と市町村の機能
($\overline{12}$ は市町村①と市町村②の提携を示す)

b) 市町村間の提携相手としての好ましき

市町村 i が市町村 j を提携相手として好むことを、 i が j と提携したときに j と提携しないときより影響が改良されることであると定義する。これをもとに、市町村 i の j に対する好ましさを次の行列 $P = (p_{ij})$ で示す。

$$p_{ij} = \begin{cases} 1 & \cdots \cdots \cdots S \in \mathfrak{B}(i) \text{ に対し } T = S - \{j\} \in \mathfrak{B}(i) \text{ で } v(S) \leq v(T) \\ -1 & \cdots \cdots \cdots S \in \mathfrak{B}(i) \text{ に対し } T = S - \{j\} \in \mathfrak{B}(i) \text{ で } v(S) \geq v(T) \\ 0 & \cdots \cdots \cdots \text{otherwise } \mathfrak{B}(i) \cap \mathfrak{B}(j) = \emptyset \text{ あるいは } T = S - \{j\} \notin \mathfrak{B}(i) \text{ あるいは } \\ & \cdots \cdots \cdots S \in \mathfrak{B}(i) \text{ に対し } T = S - \{j\} \in \mathfrak{B}(i) \text{ だが } v(S) \leq v(T) \text{ と } v(S) \geq v(T) \text{ がある。} \end{cases}$$

この行列 P により、市町村間の提携相手としての好ましさが市町村間関連構造として求められる。図-5 はその例である。

また、この行列 P の作成過程においては、 $T = S - \{j\} \notin \mathfrak{B}(i)$ であっても、他の $T \in \mathfrak{B}(i)$ の動向により、 $v(S)$ と $v(T)$ の大小関係を把握することができる。このため、提携案抽出のプロセスで捨棄された案の中で、よりよい v をもつ提携案を発見することも可能となる。具体的な例はケーススタディで紹介する。

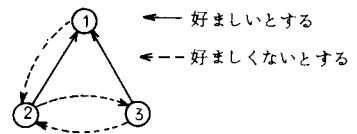


図-5 市町村間の提携相手としての好ましき

以上の検討により、各市町村の提携における役割が定性的ではあるが明らかとなる。提携に対し改良型で参加し、他の市町村から提携相手として好まれる市町村は、言わばイニシアチブをとることができる場所であると言えよう。

(2) 提携による影響の配分

3.(1)の分析においては、提携 S による市町村への影響 $v(S)$ をその大小関係のみに着目して分析した。すなわち順序尺度としての $v(S)$ を評価してきたことになる。ここでは、 $v(S)$ を間隔尺度、すなわち、 $i \in S$ となる市町村へ配分することができ、それが加算可能であるものとして考え、任意の提携 S を選定したとき、それを各市町村に納得させるためどのように $v(S)$ を配分するかの方法について考察する。

市町村 i に配分される量を x_i とすると、提携 S においては、 $\sum_{i \in S} x_i = v(S)$ が成り立つように x_i を決める必要がある。このとき、市町村 i は、 S 以外の提携 $T \in \mathcal{S}(i)$ における $v(T)$ を参考にその場合より x_i が増えないことを要求する。すなわち、 $\sum_{i \in T \in \mathcal{S}(i), T \neq S} x_i \leq v(T)$ という条件を課す。このため、 x_i を規定する条件の全体は次のような制御領域 $D(S)$ となる。

$$D(S) = \{(x_i) | \sum_{i \in S} x_i = v(S), \sum_{i \in T} x_i \leq v(T), T \in \mathcal{S}, T \neq S\} \quad (4)$$

これは、市町村 i をプレイヤー、 $v(S)$ を特性関数形のペイオフとした協力 n 人ゲームの解の1つであるコアの概念に相当する。コアは必ずしも存在するとは限らない。特に、提携 S に対し、次のLP問題の解 Z^* が $Z^* < v(S)$ であれば、提携 S を選択しても各市町村が納得せず、コアが存在しない。

$$Z^* = \max \sum_{i \in S} x_i \quad \text{subj. to} \quad \sum_{i \in T} x_i \leq v(T), T \in \mathcal{S}, T \neq S \quad (5)$$

従って、 Z^* を構成する x_i^* であれば、 $T \in \mathcal{S}$ のいずれでも良いということになる。この場合には、 $x_i \leq x_i^* (i \in N)$ の条件で、他に評価値を求め $T \in \mathcal{S}$ の選択を行う方法をとることになる。

しかし、 v 以外の評価をみたときにやはり S がよいという判断がなされた場合には、 $v(S) - Z^*$ の不满を各市町村に配分することになり、その配分の1つの方法として協力 n 人ゲームの解の1つである仁(Nucleolus)がある。仁は、最大不满の最小化をめざすもので、次のLP問題を解くことに帰着される。

$$\min \epsilon \quad \text{subj. to} \quad \sum_{i \in S} x_i = v(S), \sum_{i \in T} x_i - v(T) \leq \epsilon, T \in \mathcal{S}, T \neq S \quad (6)$$

さて、広域水道の場合、 v として水価をとりあげて、(6)式の問題を考えてみる。ここで水価は $S \in \mathcal{S}$ となる提携について、広域水道施設の概略的な代替案作成を通してとめた建設費用とそれにもとづく維持管理費を水量で基準化したものである。このため、 y_i を市町村 i の享受する水価とすれば、その必要水量を w_i としたとき(6)式の x_i は、 $x_i = w_i y_i / \sum_{i \in S} w_i$ と示され、次のようにかわる。

$$\begin{aligned} \min \epsilon \quad \text{subj. to} \quad & \sum_{i \in S} w_i y_i / \sum_{i \in S} w_i = v(S) \\ & \sum_{i \in T} w_i y_i / \sum_{i \in T} w_i - v(T) \leq \epsilon, T \in \mathcal{S}, T \neq S \end{aligned} \quad (6')$$

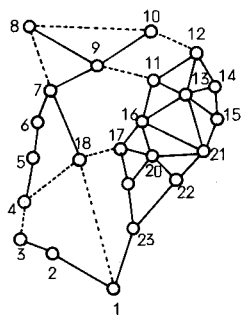
これを解けば、水価 $v(S)$ となるときの各市町村 $i \in S$ の負担水価が求められる。

4. ケーススタディ

これまで示した市町村提携に関する案の抽出、評価を、水道の広域化を対象に適用した事例を示す。この地域は現在23市町村で構成され、現在一部に広域水道事業が発足している。将来水需要の増加が予想されるため、地域内にダム開発が計画され、その利用形態として広域水道がとりあげられて、市町村提携案を検討する必要性が生じた。

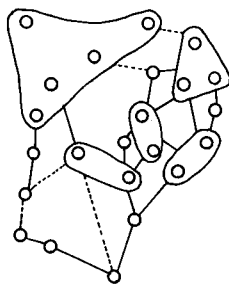
(1) 市町村提携案の抽出

地域内の市町村は、地理的に図-6のような隣接グラフを形成している。各市町村の隣接関係は、①既存



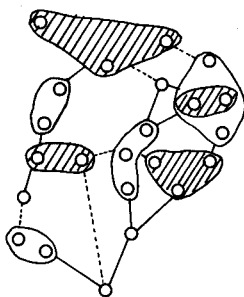
—— 平地つづき
 ----- 河川をはさむ
 山地をはさむ

図-6 行政界の隣接



○ 企業団グループ

図-7 水道の企業団



6~7種について同一グループ
 4~5種について同一グループ

図-8 広域化事業による結びつき

の水道の給水区域が連続し平地つづきとなる、②河川をはさむ、③山地をはさむの3種に識別した。このうち②、③の関係は施設計画を考えると経済的技術的に不利なものとなる。

さて、この隣接グラフに対し点集合の修正を次のよう行なった。すなわち、①既存の水道企業団が形成されているところは一体とみなし、②水道以外の公共事業に関する広域化を同じくする市町村は一体とみなして、該当する市町村をグルーピングした。図-7は水道企業団グループを、図-8は、ごみ処理・し尿処理・伝染病・消防・老人ホームや郡・保健所の管轄といった7種の広域事業による結びつきを示したものである。このデータをもとに、23市町村を12のグループにまとめて、図-6の山地をはさむ隣接を略して得られたのが、図-9のグラフである。

提携案の抽出は、図-9のグラフをもとに行うことは可能であるが、その数が膨大になることが予想された。このため、グラフをさらに簡略化して検討するという方針がとられた。図-3の提携案抽出プロセスが繰り返されることになったわけであるが、この繰り返りは4回行なわれた。その概要を表-1に示す。

プロセスの繰り返しは、次第に、現在水不足に悩んでいる図-9の $C \cdot E \cdot F \cdot K \cdot L$ といった地区の提携のあり方に焦点があてられるようになった。そして、これらの地区の提携をベースに他地区の提携を考え、最終的には、15の案に絞り込まれた。3回目の繰り返りで得られた提携案は図-10の9案である。原理的には、26案あるが、 K を単独にしないことなどから9案に絞り込まれている。

以上の提携案抽出のプロセスの運用は、案の抽出を主目的とはするが、同時に、対象地域の市町村の結びつきをより深く理解することに役立っていることが、 $C \cdot E \cdot F \cdot K \cdot L$ に焦点をあてたことなどに示されている。

(2) 市町村提携案の評価

提携案の抽出をうけて、その評価を行なった事例について述べる。まず、広域水道としての提携は、80年時点での必要供給水量をまかなうことのできる取水・浄水施設を建設し、末端の給水をも含めた事業運営を行なうものと仮定して、概略的な施設建設代替案を作成した。この代替案による建設費用と末端給水を行なうための整備運営費用をもとに、各提携 S における水価 $v(S)$ を算定した。図-11の隣接関係にある5市町村に対し、表-2の12案の水価が求められた。これをもとに、提携案を評価した結果を述べる。

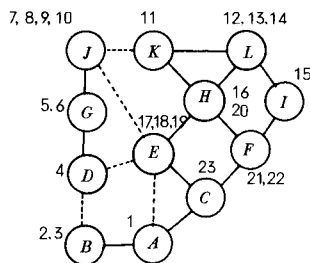


図-9 簡略化した市町村関連グラフ

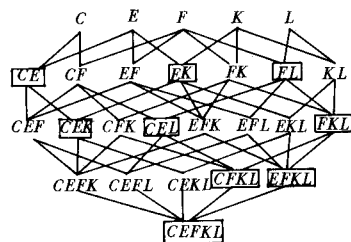


図-10 3回目のHasse図

(□ 最終的な抽出案)

表－1 市町村提携案設定の経緯

繰返し回数	1	2	3	4
中核となる市町村関連グラフ				
提携案抽出	河川沿の中核となる地区をとり出し、図の隣接関係をもとに可能な提携案を抽出した。 →46案	C・Fを加えて、中核となる8地区の関係から可能な提携案を抽出した。 →171案	C・F・L・Kに限定し、可能な提携案を抽出した。 →26案	C・Kについて、それぞれA・Dと結びつきうるものとして、可能な提携案を抽出。 →15案
評価	水価・自己水比率・1人当給水量による評価を行う。 →比較的良好としたもの12案	ブロック化案が多すぎるため行わず。	施設計画を意図して、評価し、これでの検討結果(1回目)とあわせてみる。 →9案	
中核でない単位の所属	水価・自己水比率・1人当給水量による評価を行う。		IはLに組み込む。BはEかKにくみ込む。GはDに、BはAに。	
問題点	C・Fを中核とする必要あり。	河川に水管橋をかける案は基本的に好ましくない。C・F・Lに重点をおくべき。	A・D・Jの取り扱いとして、これらの間の提携はなしとする。	

a) 各市町村が提携に参加することの意義

12個の提携案の水価をもとに、各案の間での選好関係行列Bを求め、それにもとづく関連図を作成すると図－12を得た。図では下にいくほど水価が下がっていく。行列Bに対し、各要素に関連する市町村の役割を示した行列Cを作成し、図－12における各矢線上にあらわした。この結果、市町村③⑤は改良型の機能を、残る①・②・④は改悪型の機能を有していることがわかる。

b) 市町村間の提携相手としての好ましき
各市町村にとって他の市町村が提携相手として好ましいかどうかは、先に述べた行列Pを求めて検討した。市町村間の関連図に直すと図－13のようになる。この図から、まず市町村③・⑤は他から好まれ、①・②・④は互いに他を好まないことがわかる。従って、③・⑤は提携の形成に中心的に役割を果たす。

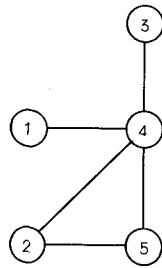
しかしながら、③・⑤だけでは提携が形成できないため、④を組み込まざるを得ない。③にとって、④・⑤は無差別であるから、表－2においてはとりあげていなかった③④⑤による提携は実現性が高く、水価も改良されることが予想される。このため、新たに提携案として付加する必要がある。

c) 水価の決定

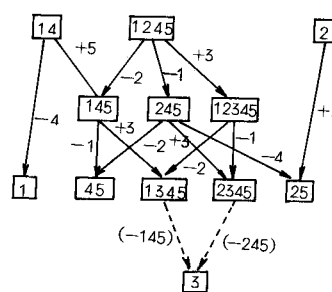
これまでの分析により、市町村③⑤は、提

表－2 提携案と水価

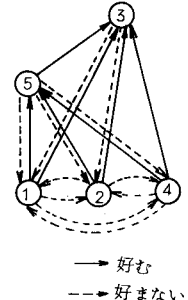
提携案	参加市町村					水価 [円/㎡]
	①	②	③	④	⑤	
1						182
2	●		●	●	●	251
3				●	●	260
4	●					266
5	●			●	●	271
6		●		●	●	274
7	●	●		●	●	276
8		●		●	●	278
9		●		●	●	286
10	●	●		●	●	288
11		●		●	●	340
12	●			●	●	318
必要水量 [m³/日]	9,810	53,310	20,430	6,930	21,200	111,680



図－11 対象市町村隣接グラフ



図－12 提携間の選好構造と市町村の役割(+改良型、-改悪型)



図－13 市町村間の提携相手としての好ましき

携の形成において他より優位にあることがわかった。このため、安価な水価であることを前提として、他との提携を考えるとと思われる。今、5市町村が1まとまりとなる提携 N (表-2の第7案)の形成を対象に、各市町村はどのような水価を前提とするかについて考えることにする。まず、提携 N への参加の可能性について、(5)式のLP問題を解く。ここで、水価を y_i とすると、 $x_i = w_i x_i / \sum_{i=1}^5 w_i$ である(w_i は i の必要水量)。定式化したものを表-3に示す。これを解くと、次の解が得られた。

表-3 全体提携 N に関するLP問題

$$Z^* = 265; x_1^* = 266, x_2^* = 300, x_3^* = 182, x_4^* = 371, x_5^* = 224 [\text{円}/\text{m}^3]$$

この Z^* の値は、 $v(N) = 276 [\text{円}/\text{m}^3]$ よりも安い。従って、全体提携 N は他の提携に比べ好ましくないということになり、形成されない。

LP問題の解を規定する制約条件(活性化条件)は、表-3に「・」で示したが、市町村①と③は単独の場合の条件を前提としているのに対し、残る市町村は、 $\overline{45}$ 、 $\overline{25}$ 、 $\overline{245}$ の3つの提携での条件をもとにすることがわかる。このため、提携として可能なのは、①・③を単独とし、②④⑤がまとまる案であるといえよう。

	b	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1	18.200	≥ 0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
2	25.100	≥ 0.168	0.000	0.350	0.119	0.363
3	26.000	≥ 0.000	0.000	0.000	0.246	0.754
4	26.600	≥ 1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	27.100	≥ 0.259	0.000	0.000	0.183	0.558
6	27.400	≥ 0.000	0.523	0.201	0.068	0.208
7	27.800	≥ 0.000	0.715	0.000	0.000	0.285
8	28.600	≥ 0.000	0.654	0.000	0.086	0.260
9	28.800	≥ 0.108	0.584	0.000	0.076	0.232
10	31.000	≥ 0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
11	31.800	≥ 0.586	0.000	0.000	0.414	0.000
	Z	0.088	-0.477	-0.183	-0.062	-0.190

・活性化条件

一方、全体提携 N を実現するという条件のもとでは、各市町村は水価の上昇に関する不満 $v(N) - Z^* = 11 [\text{円}/\text{m}^3]$ を訴える。先に示したゲームの解の1つである仁は、各 x_i^* にこの11円を加えた値となる。このため、 N の実現においては、不満の分11円を負担する行政体(たとえば県・国)が必要となってくる。

5. おわりに

本研究では、水利用の広域化計画においてどのような市町村をまとめるかという問題にグラフ論とゲーム論を採用したアプローチを提示した。まず、市町村の隣接グラフをどのように解釈修正するかによる市町村提携案の抽出プロセスを示し、次いで、提携に対するペイオフを与えたときの市町村の役割を分析し、どのような提携が選択されるかを協力 n 人ゲームとして考察した。案の抽出プロセスは、これを繰り返すことで、地域の市町村関連の認識を深めるという利点をも持つ。マン・マシン系の整備により、対話型システムとして活用することもできると考えられる。また、提携の評価の方法についても、ペイオフを媒介とした提携案抽出に用いることが可能であると思われる。

しかしながら、案の抽出プロセスに関しては、グラフの修正の条件の設定方法の整備が、提携の評価については、ペイオフが数種類にわたる場合のとりあつかい方が、今後このアプローチを実用化するために重要な課題であると言えよう。

〔参考文献〕

- 1) 高橋磐郎、藤重 悟；離散数学、岩波講座情報科学—17、岩波書店、1981
- 2) 鈴木光男編著；ゲーム理論の展開、東京図書、1973