

(28) 広域的水需要予測と計画給水量決定について

(株)日本水道コンサルタント

萩原 良巳

"

小泉 明

"

○中川 芳一

1. はじめに

広域的水道整備計画の策定に際し、対象市町村群の計画目標年次における水需要量は重要な計画入力となり、このため対象市町村の将来水需要量の予測は必須である。しかし、水需給が逼迫し、新規水資源開発の困難な地域では、整備対象地域が依存する水源の開発可能量が整備計画の強い制約となり、需要に応じて水資源を開発・供給するという図式ではなく、限られた水源水量を如何に対象市町村に配分するか、すなわち水源水量を考慮した各市町村の計画給水量の設定が問題となる。このとき、公共水域の環境悪化が顕在化した今日では、公共水域の環境に与えるインパクトをも考慮した水源水量の適正配分が必要と考える。

そこで、本稿では、まず対象市町村の性格特性ならびに水需要構造の将来遷移を考慮した水需要予測法を提示し、具体的地域での予測例を示す。ついで、この予測結果をうけて、水源水量を制約とし、公共水域の環境に与えるインパクトを考慮した各市町村への配分水量の決定（計画給水量の決定）モデルを目標計画法（G.P.）により定式化し、その適用結果を述べる。

2. 広域的水需要予測

2-1. 概説 地域の水需要構造は、対象地域の社会構造・経済状態等の特性に依存する。そして、これらの地域特性の空間的差異ならびに時間的遷移により、地域の水需要構造も空間的差異、時間的遷移を呈する。

そのため、ここでは、複数個の市町村を含む地域を対象として、各市町村の性格特性ならびに水需要構造の将来遷移を考慮したマクロ的水需要予測法を提示する。この水需要予測プロセスを図-1に示す。すなわち、まず主成分分析により水需要に注目した地域特性の分析を行ない、特性の類似性による市町村の分類（クラス分け）およびクラスの特徴の説明ならびに特性項目の分類を行なう。つぎに、これらの分析結果をもとにクラス毎の水需要構造式を重回帰分析により作成すると同時に、各クラスを判別する判別関数を作成する。そして、各市町村の特性項目の将来推定値から判別関数により各市町村の水需要構造の将来遷移を判別し、遷移後のクラスの水需要構造式により水需要予測値を算定するというプロセスである。

なお、本稿では水需要量は原単位×給水人口で表わされるものと見なし、原単位構造に注目した水需要予測を行なうものとする。また、分析対象市町村群は、大都市の近郊地域とし近年急激に変化している地域の26市町村であり、その隣接関係を図-2に示す。

2-2. 水需要に注目した地域特性の分析<sup>1)2)3)</sup> 水需要構造は各市町村によつて大きな差異があり、これは、前述したように各市町村のもつ性格特性によつて生ずると考えられる。水需要構造に影響を及ぼすと考えられる要因（特性項目）は数多く、しかも、これらの中には独立なものや互いに相関をもつたものが混在している。そこで、ここでは主成分分析により、これらの種々の特性項目から互いに無相関な少数個の総合特性値を抽出し、この総合特性値により対象市町村の性格特性による分類および説

図-2 隣接市町村の関係

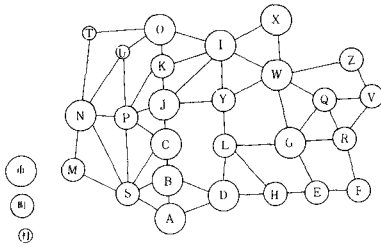


図-1 水需要予測プロセス

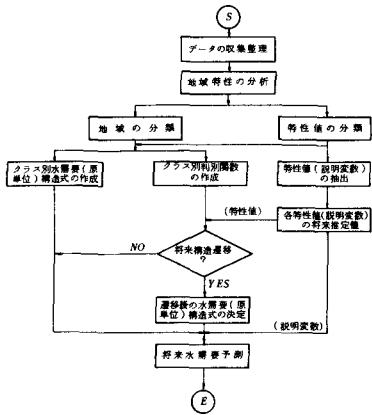


表-1 特性項目

|               |                   |
|---------------|-------------------|
| 1 田面積 (ha/千人) | 9 公園住宅 (戸/千人)     |
| 2 畑面積 ( " )   | 10 商店数 (店/千人)     |
| 3 宅地面積 ( " )  | 11 商店従業者数 (人/千人)  |
| 4 山林面積 ( " )  | 12 工場数 (1/千人)     |
| 5 人口増減 (人/千人) | 13 工場従業者数 (人/千人)  |
| 6 事業所数 (1/千人) | 14 職員数 ( " )      |
| 7 従業者数 (人/千人) | 15 財政(歳出合計) (円/人) |
| 8 農家人口 ( " )  | 16 普及率 ( % )      |

図-3 市町村スコア散布図

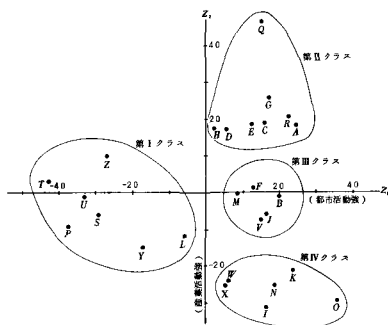
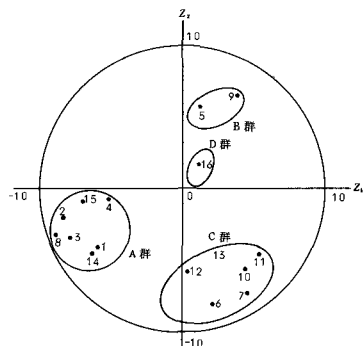


図-4 因子負荷量散布図



明を行なうとともに特性項目の分類も行なう。

表-1に分析のための特性項目を示す。なお、本稿では原単位構造に注目していることより、データとしては住民一人当りに換算した値を用いることとする。対象26市町村の表-1に示す特性項目の昭和49年度のデータを用いて主成分分析を行なった結果、以下に記すような総合特性値(主成分)が抽出された。

第1主成分( $z_1$ ):都市活動の強さを示すファクター、第2主成分( $z_2$ ):産業活動の強さを示すファクター、第3主成分( $z_3$ ):産業構造の区別を示すファクター

なお、第1、第2、第3主成分の累積寄与率は、それぞれ0.36、0.59、0.70である。

ここで抽出された主成分のうち特に説明力(寄与率)の大きい第1、第2主成分( $z_1, z_2$ )による対象市町村のスコア散布図を図-3に、各特性項目の因子負荷量散布図を図-4に示す。これらの図より、対象市町村および特性項目の分類を行なうことができ、対象市町村は、

第Iクラス(都市活動が弱い市町村群)、第IIクラス(都市活動は強いが、産業活動は弱い市町村群)、

第IIIクラス(都市活動が強い市町村群)、第IVクラス(都市活動、産業活動ともに強い市町村群)

の4クラスに分類することができ、また、特性項目は、図-4に示したA~Dの4群に分類することができる。

2-3 クラス別水需要構造分析<sup>1)2)3)</sup> ここでは、2-2の地域特性の分析結果をうけて、上述の各クラス毎に原単位構造の分析を重回帰分析により行ない、クラス別原単位構造式を作成する。

まず、分析に用いる説明変数の選択を以下の基準で行なった。① 2-2の分類結果より、各クラスの特性を説明するに適したもの、② 変数間の相関が極力小さいもの、③ 過去の経験から水需要予測に有効であると考えられるもの、④ 経年データの収集が可能なもの。

この結果、説明変数として、 $x_1$ :1人当たり田畑面積(ha/千人)、 $x_2$ :1人当たり商店従業者数(人/千人)、 $x_3$ :1人当たり工業従業者数(人/千人)、 $x_4$ :普及率(%)の4変数を選択した。

つぎに、これらの説明変数を用いて、原単位 $Y$ (ℓ/人/日)を目的変数とする重回帰式として、各クラス毎の原単位構造式を作成した。なお、データとしては昭和42~49年の8年間の値を用いた。以下に、クラス別原単位構造式を示す。

|                                                                                                       | R 値    | F 値  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|
| 第Iクラス: $Y = 99.2 - 0.403x_1 + 498.3x_2 + 1476.2x_3 + 0.338x_4$<br>(-0.144) (0.084) (0.842) (0.116)    | 0.808、 | 11.3 |
| 第IIクラス: $Y = 340.3 - 257x_1 + 2891.8x_2 - 1338.3x_3 - 0.345x_4$<br>(-0.928) (0.641) (-0.956) (-0.082) | 0.730、 | 9.7  |
| 第IIIクラス: $Y = -193.9 + 1.63x_1 + 7887.5x_2 + 698.3x_3 - 1.29x_4$<br>(0.617) (1.424) (0.745) (-1.023)  | 0.710、 | 5.2  |
| 第IVクラス: $Y = 42.9 - 1.09x_1 + 628.0x_2 - 1080x_3 + 2.88x_4$<br>(-0.714) (0.563) (-0.326) (1.254)      | 0.780、 | 9.7  |

ここに、上式の( )内の数値は、標準偏回帰係数である。

2-4. 水需要構造の遷移を考慮した需要予測<sup>2)3)</sup> 2-3において各クラス毎の原単位構造を重回帰式に

より表わすことができた。しかし、前述したように、各市町村の水需要構造は時間的に遷移しており、将来にわたって同一クラスに留まるという保証はない。そのため、ここでは、各市町村がどのクラスに属するかを判別する関数（判別関数）を作成し、この関数により各市町村の水需要構造が将来他のクラスの構造へ遷移するかどうかの判定を行なう。そして、遷移後のクラスの原単位構造式に説明変数の将来推定値を代入することにより、水需要予測値を算定する。

1) 判別関数の作成 各クラスの水需要構造を判別する関数（判別関数）の作成に用いる特性項目としては、図-4の各群より1ないし2個抽出し、 $x_1$ ：1人当り田畑面積（ha/千人）、 $x_2$ ：1人当り商店従業者数（人/千人）、 $x_3$ ：1人当り工業従業者数（人/千人）、 $x_4$ ：普及率（%）、 $x_5$ ：人口増加率（人/千人）の5特性項目とした。そして、これらの5特性項目により、各市町村を図-3で分類された各クラスに判別する関数を作成した。以下に各クラスの判別関数を示す。

第Ⅰクラス： $f_1 = -10.63 + 0.809x_1 + 0.669x_2 + 0.234x_3 + 0.653x_4 - 0.246x_5$

第Ⅱクラス： $f_2 = -4.74 + 0.247x_1 + 0.393x_2 + 0.142x_3 + 0.659x_4 - 0.009x_5$

第Ⅲクラス： $f_3 = -6.36 + 0.380x_1 + 0.559x_2 + 0.189x_3 + 0.617x_4 - 0.048x_5$

第Ⅳクラス： $f_4 = -9.85 + 0.561x_1 + 0.769x_2 + 0.259x_3 + 0.755x_4 - 0.223x_5$

これらの判別関数は各クラスの重心からの距離（マハラノビスの汎距離）を表わしており、この距離の長さを比較することにより、各市町村が属するクラスを判別することができる。なお、昭和49年度データによる各市町村の判別結果は、図-3の分類結果と一致し、この判別関数の妥当性が検証された。

2) 将来水需要（原単位）構造の判別 上記の判別関数に、各市町村の特性項目の将来推定値（昭和60年度）を代入することにより、各市町村の水需要構造が将来どのクラスに遷移するかの検討を行なった。

この結果得られた $P_i$ 値（ $= \exp(f_i - \max f_i) / \sum \exp(f_i - \max f_i)$ 、 $i = 1, 2, 3, 4$ ）を表-2に示す。この表より、D、L、S、T、Y、Zの6市町村が将来クラスの遷移を生じていることがわかる。Dを除いて、いずれも都市活動の弱い第Ⅰクラスから都市活動の強い第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳクラスに遷移している。またDは、産業活動が弱い第Ⅱクラスから産業活動がやや強い第Ⅲクラスに遷移している。

3) 将来水需要予測 2)で、将来（昭和60年度）における各市町村の水需要構造の遷移が把握できた。そこで、将来のクラスの原単位構造式

に、各説明変数の将来推定値を代入することにより原単位の将来推定値が算定でき、これに将来給水人口を乗じることにより、将来水需要予測を行なうことができる。このようにして算定した昭和60年度の水需要予測結果を表-3に示す。なお、表-3の上限値、下限値は、それぞれ将来推定値の95%信頼区間の上、下限である。

3. 計画給水量の決定<sup>4)</sup>

3-1. 概説

2.で広域な市町村群を対象とし、各市町村の性格特性ならびに水需要構造の将来遷移を考慮した水需要予測法を提示し、具体的地域での予測を行なった。その結果算定された予測値は、過去の経年的データを統計処理することより得られたものであることから、

表-2 将来水需要（原単位）構造  
遷移分析結果（ $P_i$ 値）

| 市町村名 | 第Ⅰ<br>クラス | 第Ⅱ<br>クラス | 第Ⅲ<br>クラス | 第Ⅳ<br>クラス | 将来判別<br>クラス | 549年<br>のクラス |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|
| A    | 0.00      | 0.95      | 0.07      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| B    | 0.00      | 0.21      | 0.79      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| C    | 0.00      | 0.86      | 0.14      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| D    | 0.00      | 0.00      | 0.60      | 0.40      | Ⅲ           | Ⅱ            |
| E    | 0.00      | 1.00      | 0.00      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| F    | 0.00      | 0.03      | 0.97      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| G    | 0.00      | 1.00      | 0.00      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| H    | 0.00      | 0.99      | 0.01      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| I    | 0.00      | 0.00      | 0.01      | 0.99      | Ⅳ           | Ⅳ            |
| J    | 0.00      | 0.05      | 0.95      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| K    | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 1.00      | Ⅳ           | Ⅳ            |
| L    | 0.00      | 0.00      | 0.01      | 0.99      | Ⅳ           | Ⅱ            |
| M    | 0.00      | 0.16      | 0.84      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| N    | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 1.00      | Ⅳ           | Ⅳ            |
| O    | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 1.00      | Ⅳ           | Ⅳ            |
| P    | 1.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | Ⅰ           | Ⅰ            |
| Q    | 0.00      | 1.00      | 0.00      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| R    | 0.00      | 0.97      | 0.05      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| S    | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 1.00      | Ⅳ           | Ⅳ            |
| T    | 0.00      | 0.00      | 0.35      | 0.67      | Ⅳ           | Ⅳ            |
| U    | 1.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | Ⅰ           | Ⅰ            |
| V    | 0.00      | 0.06      | 0.94      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| W    | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 1.00      | Ⅳ           | Ⅳ            |
| X    | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 1.00      | Ⅳ           | Ⅳ            |
| Y    | 0.00      | 0.03      | 0.88      | 0.09      | Ⅱ           | Ⅱ            |
| Z    | 0.00      | 0.79      | 0.21      | 0.00      | Ⅱ           | Ⅱ            |

\* 遷移を生じた市町村

表-3 市町村別将来水需要  
予測結果

| 市町村名 | 60年度1人1日平均給水量の<br>下 推 定 値 |       |         | 60年度<br>給水人口 | 60年度1日平均給水量(千円)<br>下 限 値 |       |       | 上 限 値 |
|------|---------------------------|-------|---------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|
|      | 下 推 定 値                   | 上 限 値 | 下 推 定 値 |              | 下 限 値                    | 上 限 値 |       |       |
| A    | 529                       | 568   | 407     | 192100       | 652                      | 707   | 782   |       |
| B    | 177                       | 250   | 285     | 65600        | 116                      | 151   | 186   |       |
| C    | 289                       | 528   | 567     | 65700        | 190                      | 216   | 241   |       |
| D    | 288                       | 309   | 317     | 61000        | 144                      | 153   | 162   |       |
| E    | 517                       | 343   | 349     | 28800        | 91                       | 99    | 106   |       |
| F    | 220                       | 274   | 528     | 38200        | 84                       | 105   | 125   |       |
| G    | 381                       | 415   | 449     | 70200        | 267                      | 291   | 315   |       |
| H    | 305                       | 322   | 341     | 34000        | 103                      | 109   | 116   |       |
| I    | 292                       | 335   | 378     | 73300        | 214                      | 246   | 277   |       |
| J    | 247                       | 315   | 385     | 79700        | 197                      | 251   | 305   |       |
| K    | 172                       | 264   | 356     | 24800        | 48                       | 65    | 88    |       |
| L    | 138                       | 219   | 303     | 18600        | 26                       | 41    | 56    |       |
| M    | 91                        | 259   | 427     | 45300        | 41                       | 117   | 192   |       |
| N    | 169                       | 359   | 549     | 99700        | 168                      | 358   | 547   |       |
| O    | 329                       | 402   | 475     | 142000       | 467                      | 571   | 675   |       |
| P    | 359                       | 447   | 525     | 18100        | 67                       | 81    | 95    |       |
| Q    | 303                       | 376   | 449     | 32600        | 99                       | 123   | 146   |       |
| R    | 560                       | 390   | 420     | 59400        | 214                      | 252   | 249   |       |
| S    | 355                       | 376   | 417     | 18700        | 66                       | 74    | 82    |       |
| T    | 289                       | 344   | 399     | 8600         | 25                       | 30    | 34    |       |
| U    | 268                       | 508   | 548     | 7200         | 19                       | 22    | 25    |       |
| V    | 189                       | 211   | 234     | 21000        | 39                       | 44    | 49    |       |
| W    | 303                       | 356   | 409     | 56600        | 172                      | 202   | 231   |       |
| X    | 351                       | 357   | 383     | 47700        | 158                      | 170   | 188   |       |
| Y    | 264                       | 359   | 412     | 16000        | 45                       | 54    | 65    |       |
| Z    | 250                       | 282   | 334     | 14700        | 34                       | 41    | 49    |       |
| 計    |                           |       |         | 1,336,300    | 5,719                    | 4,553 | 5,382 |       |

確定的なものではなく確率的な値すなわち確率変数の期待値と認識すべきであり、計画入力としては予測値だけではなくその確率分布までも考える必要がある。このため本稿では、重回帰式の信頼区間として計画目標年次（昭和60年）における各市町村の水需要量の予測範囲（上、下限値）を設定した。（表-3参照）

ここで対象とする市町村群が依存する水源の開発可能性が豊富な場合は、算定された期待値をそのまま計画給水量とすることも可能であるが、水需給が逼迫し、新規水資源開発の困難な地域では、限られた水源水量を如何に対象市町村へ配分するか、すなわち、各市町村の計画給水量をどのようにして決定するのが問題となる。また、このとき、公共水域の環境悪化が顕在化した今日では、公共水域の環境に与えるインパクトをも考慮して各市町村の計画給水量を決定することが必要であると考えられる。

そこで、ここでは、2 で設定した水需要量の予測範囲および水源水量等の制約のもとで、対象市町村群の産業活動の最大化および環境へのインパクトの最小化という相反する目標をバランスよく達成するように各市町村への配分水量（計画給水量）を決定するモデルを目標計画法（G.P.）により定式化した。そして、そのモデルを2.で水需要予測の対象とした26市町村群へ適用することにより、目標値の変化による解（各市町村の計画給水量）の変化について検討した。

3-2. G.P.による計画給水量決定モデルの定式化 いま、 $n$ 個の市町村により構成される広域市町村群を対象として水需要予測がなされたとする。3-1.でも述べたように水需要予測値を確率変数の期待値と認識すると、予測値はある幅を有しているといえる。ここでは、この幅のある予測値をもとに、各市町村の計画給水量をG.P.により決定するモデルを定式化する。

まず、各市町村の計画給水量を決定する際の制約条件としては以下のものが考えられる。

① 水源水量による制約； 計画目標年度 $t$ における広域市町村群全体の水源水量（たとえば取水可能量等）を $R(t)$ とすると、水源水量による制約は次式で表わされる。

$$\sum_{i=1}^n x_i(t) \leq R(t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $x_i(t)$ は、 $i$ 市町村における $t$ 年度の計画給水量（ $m^3/\text{日}$ ）であり、これが決定変数である。

② 水需要予測結果による制約；水需要予測により、各市町村の計画目標年度における水需要量の期待値 $x_i^*(t)$ ならびにその予測範囲の上限値 $x_i^{\max}(t)$ および下限値 $x_i^{\min}(t)$ が算定されているとする。このとき、計画給水量 $x_i(t)$ はこの予測範囲内の値をとるものとする次式の制約式を得る。

$$x_i^{\min}(t) \leq x_i(t) \leq x_i^{\max}(t) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (2)$$

③ 地域特性による制約； 2-2.で述べた地域特性の分析などにより対象市町村が $P$ 個のグループに分類されるものとする。このとき、各グループ毎の供給水量の現在値に対する増加比による制約を考える。すなわち、増加比の最大値および最小値を、それぞれ $\gamma_j^{\max}(t)$ 、 $\gamma_j^{\min}(t)$ と設定することにより、

$$\gamma_j^{\min}(t) \cdot \sum_{i \in j} x_i(0) \leq \sum_{i \in j} x_i(t) \leq \gamma_j^{\max}(t) \cdot \sum_{i \in j} x_i(0) \quad (j=1, 2, \dots, P) \quad \dots\dots (3)$$

なる制約を考える。ここに、 $x_i(0)$ は $i$ 市町村の現在給水量であり、 $i \in j$ は $j$ グループに属する市町村を表わす。

④ 新規開発水需要量による制約； いま、 $i_s$ 市町村において新規開発水需要量として $f_{i_s}(t)$ が、水需要予測結果とは別に計画されており、この $f_{i_s}(t)$ は優先的に供給するものとする場合、制約条件として次式を追加する。

$$x_{i_s}(t) \geq x_{i_s}^{\min}(t) + f_{i_s}(t) \text{ or } \sum_{i_s} x_{i_s}(t) \geq \sum_{i_s} (x_{i_s}^{\min}(t) + f_{i_s}(t)) \quad (i_s; \text{特定市町村}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

つぎに、対象市町村群全体を考えた場合の目的としては種々のものが考えられるが、ここではとりあえず、産業活動の増大ならびに環境へのインパクトの減少という互いにトレードオフの関係にあると考えられる2つの目的を設定し、この相反する2つの目的を同時にできるだけ満足するような計画給水量の決定を行なうこととする。以下に、これらの目的関数を示す。

① 産業活動の増大； いま、限られた水源水量により対象市町村群全体での産業活動をできるだけ増大させるためには、単位水量当りの産業活動の大きい市町村により多量の水を供給すればよい。すなわち、産業活

動の増大という目的は、計画目標年度における各市町村の単位水量当りの産業高を  $C_i$  として、次式で表わされる。

$$\sum_{i=1}^n C_i \cdot x_i(t) \rightarrow \max \quad \dots\dots\dots (5)$$

⑩環境へのインパクトの減少； 水を供給することにより、使用後の水は排水として直接公共水域に流出するか下水処理場に集められ処理後公共水域に放流される。いずれにしても多量の水の供給は公共水域の環境へのインパクトを増大させ、とくに下水道未整備地域においては、そのインパクトはきわめて大きい。そこで、ここでは、公共水域の環境へのインパクトを汚濁負荷量で表わすこととし、公共水域へ流出する汚濁負荷量をできるだけ小さくすることを目的とする。

$$\sum_{i=1}^n (1-\delta_i) \cdot B_i \cdot x_i(t) + B^0 \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot x_i(t) = \sum_{i=1}^n S_i \cdot x_i(t) \rightarrow \min \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$S_i = (1-\delta_i) \cdot B_i + \delta_i \cdot B^0$$

ここに、 $B_i$  は  $i$  市町村の単位水量当りの汚濁負荷量（負荷強度）、 $\delta_i$  は  $i$  市町村の下水道整備率、 $B^0$  は処理場放流水質、 $S_i$  は  $i$  市町村の単位水量当りの環境インパクト量（流出負荷量）であり、これらはすべて計画目標年度の値である。

以上の制約条件ならびに目的関数を目標計画法（ $G.P.$ ）により定式化すると、以下の  $L.P.$  問題となる。

〔制約条件〕 (1)、(2)、(3)、(4)式 ならびに

$$(5) \text{式より} \quad \sum_{i=1}^n C_i \cdot x_i(t) + y_1^s - z_1^s = g_1^s, \quad \sum_{i=1}^n C_i \cdot x_i(t) \geq g_1^0$$

$$(6) \text{式より} \quad \sum_{i=1}^n S_i \cdot x_i(t) - y_2^s + z_2^s = g_2^s, \quad \sum_{i=1}^n S_i \cdot x_i(t) \leq g_2^s$$

$$(5)、(6) \text{式より} \quad \mu_1 y_1^s = \mu_2 y_2^s (\mu_2 = -\lambda_1 / \lambda_2 = -(g_1^s - g_1^0) / (g_2^s - g_2^0))$$

$$\text{非負条件} \quad x_i(t), \quad y_k^s, \quad z_k^s \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, n, k=1, 2)$$

ここに、 $g_k^s$  は満足水準、 $g_k^0$  は許容水準、 $y_k^s$  は不満足度、 $z_k^s$  はスラック変数である。

〔目的関数〕  $y_1^s \rightarrow \min$

3-3. モデルの適用例 3-2で定式化した計画給水量決定モデルを、2での分析対象26市町村群（図-2参照）へ適用し、各市町村の計画給水量  $x_i$  を決定するとともに、目標値の変化による解の変動について検討する。

1) 入力データおよび計算ケース モデルの適用に際して必要となる各種入力データを以下にまとめる

まず、計画目標年度における対象市町村群全体の水源水量  $R(t)$  は450（千  $m^3$  /日）を、各市町村の水需要量の上、下限値  $x_i^{\max}(t)$ 、 $x_i^{\min}(t)$  としては表-3に示した値を用いることとする。また、各市町村グループの増加比の最大および最小値（ $\gamma_j^{\max}$ 、 $\gamma_j^{\min}$ ）は、第Iグループ：（1.5、2.2）、第IIグループ：（2.0、2.5）、第IIIグループ：（1.5、2.0）、第IVグループ：（1.8、2.4）とし、さらに、 $Q$ 、 $R$ 、 $W$ 、 $Z$  市町村の新規開発水需要量を10（千  $m^3$  /日）と設定した。つぎに、各市町村の単位水量当りの産業高  $C_i$ （万円/ $m^3$ ）および単位水量当りの環境インパクト量  $S_i$ （ $kg/m^3$ ）等を表-4にまとめて示す。なお、 $B^0$  は20 ppmとした。

最後に、計算ケースとして、各目標の満足水準を種々設定することにより5ケースを行った。各ケースの目標ベクトルを図-5に示す。なお、各目標の許容水準  $g_1^0$ 、 $g_2^0$  としては、現在の産業高および下水道整備率を0とした場合の環境インパクト量を用いた。

2) 計算結果とその考察 図-5に示した各計算ケースにおける、各市町村の計画給水量（ $x_i$ ）を表-5に示す。以下、各ケースの結果の比較検討を行なう。

図-5 各ケースの目標ベクトル

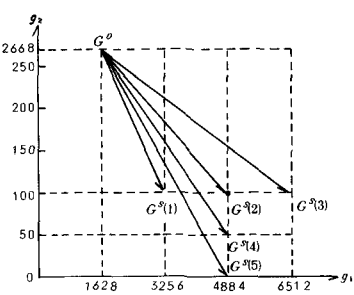


表-4 単位水量当り産業高  $C_i$  及び環境インパクト量  $S_i$

| 市町村 | グループ | $C_i$<br>(万円/ $m^3$ ) | $B_i$<br>( $kg/m^3$ ) | $\delta_i$ | $S_i$<br>( $kg/m^3$ ) |
|-----|------|-----------------------|-----------------------|------------|-----------------------|
| A   | I    | 11.65                 | 0.84                  | 0.5        | 0.43                  |
| B   | I    | 27.64                 | 1.15                  | 0.7        | 0.36                  |
| C   | I    | 0.511                 | 0.70                  | 0.5        | 0.36                  |
| D   | I    | 0.846                 | 1.23                  | 0.7        | 0.38                  |
| E   | I    | 0.265                 | 0.70                  | 0.5        | 0.36                  |
| F   | I    | 0.502                 | 0.91                  | 0.7        | 0.28                  |
| G   | I    | 0.223                 | 1.01                  | 0.5        | 0.52                  |
| H   | I    | 0.228                 | 0.39                  | 0.5        | 0.21                  |
| I   | IV   | 0.947                 | 1.76                  | 0.9        | 0.19                  |
| J   | I    | 0.502                 | 1.32                  | 0.7        | 0.41                  |
| K   | IV   | 1.300                 | 1.29                  | 0.9        | 0.15                  |
| L   | IV   | 0.377                 | 1.12                  | 0.9        | 0.13                  |
| M   | I    | 1.587                 | 1.09                  | 0.7        | 0.34                  |
| N   | IV   | 0.848                 | 2.07                  | 0.9        | 0.23                  |
| O   | I    | 1.226                 | 1.74                  | 0.9        | 0.19                  |
| P   | I    | 0.413                 | 0.25                  | 0.3        | 0.19                  |
| Q   | I    | 0.138                 | 0.56                  | 0.5        | 0.29                  |
| R   | I    | 0.345                 | 0.39                  | 0.5        | 0.21                  |
| S   | IV   | 0.709                 | 1.46                  | 0.9        | 0.17                  |
| T   | IV   | 0.575                 | 0.81                  | 0.9        | 0.10                  |
| U   | I    | 0.362                 | 0.25                  | 0.3        | 0.19                  |
| V   | I    | 0.266                 | 0.67                  | 0.7        | 0.21                  |
| W   | IV   | 0.437                 | 1.91                  | 0.9        | 0.21                  |
| X   | IV   | 0.578                 | 1.65                  | 0.9        | 0.19                  |
| Y   | I    | 0.587                 | 0.92                  | 0.7        | 0.29                  |
| Z   | I    | 0.200                 | 0.55                  | 0.5        | 0.29                  |

まず、環境インパクト量の目標は一定とし、産業高の目標を現在の2、3、4倍としたケース1、2、3の結果を比較する。目標を現在の2倍としたケース1に較べ3倍としたケース2では、計画給水量はA、I、M、Nの各市町村では増加しており、逆にT村では減少している。この結果、対象市町村全体への総供給水量は、ケース1では420.2(千m<sup>3</sup>/日)と水源水量450(千m<sup>3</sup>/日)に較べて余裕があったのに対し、ケース2では450(千m<sup>3</sup>/日)と上限となっている。ここで、計画給水量に増減のあった市町村の単位水量当りの産業高C<sub>i</sub>をみると、増加した市町村のC<sub>i</sub>は全て0.8以上と大きいのに対し、減少したT村のそれは0.575と小さく、産業高の目標を大きく設定することにより、単位水量当りの産業高の大きい市町村への供給水量を増すという結果となっている。なお、上記4市町村以外にC<sub>i</sub>の大きいK、Oの計画給水量はケース1ですでに上限となっている。また、産業高の目標を現在の4倍としたケース3の結果は、ケース2と全く同一であり、目標をあまり大きくしてもパレート領域からはずれてしまい結果に変化がないことがわかる。

つぎに、産業高の目標を一定とし、環境インパクト量の目標を変化させたケース2、4、5の結果を比較する。目標を100(kg/日)、50(kg/日)としたケース2、4の結果は全く同一であるが、0(kg/日)と極端に強くしたケース5では、ケース2、4に較べ、計画給水量はS、Tで増加しており、逆にNで減少している。この結果、対象市町村全体への総供給水量は444.6(千m<sup>3</sup>/日)と水源水量に余裕が生じると同時に、総インパクト量もケース2、4より1.36(kg/日)だけ減少するような水配分となっている。

最後に、各市町村グループ別の給水量( $\sum_{i \in G} x_i$ )およびその期待値( $\sum_{i \in G} x_i^*$ )を基準とした場合の比率を表-6に示す。都市活動が弱い第Iグループでは、目標を変化させても給水量に変化はないが、都市活動が強い第II、III、IVグループでは、産業高の目標を上げることにより給水量は増加している。このなかでも、環境インパクト量の目標を強めることにより、他の2グループの給水量に変化がないのに対し、産業活動の強い第IVグループの給水量は減少している。

#### 4. おわりに

本稿では、広域市町村群を対象として、各市町村の性格特性ならびに水需要構造の将来遷移を考慮したマクロ的水需要予測法を提示し(図-1)、具体的地域での予測例を示した。この水需要予測値は過去の経年データの統計処理により算定されたものであることより確率変数の期待値と認識すべきであり、その予測範囲までも計画入力とする必要があるという立場にたつ。そして、この予測範囲のなかから、水源水量等の制約のもとで、公共水域の環境に与えるインパクト等を評価して各市町村の計画給水量を決定するモデルを目標計画法により定式化し、その適用結果の検討を行なった。

なお、本稿の問題点、今後の課題等については種々考えられるが、その主なものを以下にまとめる。

- I) 水需要構造が将来遷移するクラスが、現時点の地域分析により分類されたクラスに限定されていること。
- II) 計画給水量決定モデルにおいて、汚水、処理水の排出先の地理的条件およびその環境容量等を組み込んだモデルとするとともに、工水、農水も含めた流域全体での総合水管理の立場でのモデルに拡張する必要があること。
- III) II)とも関連するが、目標および制約条件の検討を行ない、対象地域に適したものを設定する必要があること。

〔参考文献〕 1) 萩原, 小泉, 中川; 水道協会雑誌, 第511号, 2) 西沢他; 土木学会第31回年講, IV-24, 3) 与田他; 第29回全国水道研究発表会, 2-12, 4) 小泉他; 第29回全国水道研究発表会, 2-20,

表-5 計画給水量x<sub>i</sub>(千m<sup>3</sup>/日)

| 市町村 | グループ | ケース1  | ケース2,3,4 | ケース5  |
|-----|------|-------|----------|-------|
| A   | I    | 727   | **782    | **782 |
| B   | I    | *116  | *116     | *116  |
| C   | I    | *190  | *190     | *190  |
| D   | I    | *144  | *144     | *144  |
| E   | I    | *91   | *91      | *91   |
| F   | I    | *84   | *84      | *84   |
| G   | I    | *267  | *267     | *267  |
| H   | I    | *103  | *103     | *103  |
| I   | II   | 215   | **277    | **277 |
| J   | II   | *197  | *197     | *197  |
| K   | II   | **88  | **88     | **88  |
| L   | II   | *26   | *26      | *26   |
| M   | II   | 66    | **192    | **192 |
| N   | II   | *168  | 232      | *168  |
| O   | II   | **675 | **675    | **675 |
| P   | I    | *67   | *67      | *67   |
| Q   | I    | 139   | 139      | 139   |
| R   | I    | **249 | **249    | **249 |
| S   | II   | *66   | *66      | *67   |
| T   | II   | **34  | *25      | **34  |
| U   | I    | *19   | *19      | *19   |
| V   | II   | **49  | **49     | **49  |
| W   | II   | *172  | *172     | *172  |
| X   | II   | *158  | *158     | *158  |
| Y   | I    | *43   | *43      | *43   |
| Z   | I    | **49  | **49     | **49  |
| 合計  |      | 4202  | **4500   | 4446  |

\*\* 上限, \* 下限

表-6 グループ別給水量

| グループ | ケース1            | ケース2,3,4       | ケース5           |
|------|-----------------|----------------|----------------|
| I    | 86<br>(0835)    | 86<br>(0835)   | 86<br>(0835)   |
| II   | 1815<br>(0998)  | 1870<br>(1029) | 1870<br>(1029) |
| III  | *699<br>(0799)  | 825<br>(0943)  | 825<br>(0943)  |
| IV   | *1602<br>(0912) | 1719<br>(0978) | 1665<br>(0948) |

( )は期待値を基準とした比率