

鳥取大学工学部 正員 岡田 寛夫  
 日水コン 正員 清水 丞  
 鳥取大学大学院 学員 ○若林 善仁

1. 研究の背景と目的: 近年、我が国では人口増加、産業の発展に伴い都市での水需要が急激に増加してきた。このため、各需要地では、近傍の水源開発のみでは供給がまかなえず、また開発費用も割り高くなるという問題に直面していた。そこで水供給システムを広域化かつ大規模化することによって、個別の都市では物理的かつ経済的に困難な大規模水源の開発や水の多角的有効利用がとられるようになった。その結果、都市圏の水利用システムは大規模化・広域化の傾向を強め、それにつれて関連施設はパイプで有機的に結びつけられ、広域ネットワークとしての性格を強めている。一方、規模の増大に伴うプロジェクト開始から供用に至るまでの期間(リードタイム)が長大になり、その結果、プロジェクトの実施中に水需要の構造変化の発生する(図-1参照)などの種々の不確実性事象が起こるようになった。また、このような事態を予期せずに計画導入されたプロジェクトの中には十分に対応できずその成否が危ぶまれるものもでてきた。岡田・清水はスウェーデンや我が国で現実的に起ったこの種の問題を想定した上で、大規模プロジェクトの計画の供用・操業時における構造変化の発生を予め勘案してプロジェクトの採否と、そのタイミングを決定するための事前分析モデルを構築している。また、プロジェクトの建設中にそのリードタイムを活用して、その続行、縮小あるいは中止を検討するための事前分析モデルを提案している。しかしながら、これらの研究では単一大規模施設を対象としており広域的規模拡張問題は明示的に取り上げていない。そこで本研究では広域ネットワークシステムの拡張・整備問題を取り上げるとともに、不確実性事象として「都市の水需要が、時間とともに増加する状態からある時点で突然、水需要の伸びが横ばいの状態に移り変わる現象」(構造変化)の発生の可能性をも組み入れた数理計画モデルの構築を試みる。さらに本モデルを多角的に運用することにより、この種の規模拡張問題を検討していくための基礎的な計画情報を提示する。

## 2. モデルの定式化

- ① 対象とする需要地は大都市Aおよび小都市Bとする。前者は人口約40万人程度、また後者は約10万人程度と設定する。
- ② 大都市Aでは水需要は急激に伸び続けているが、ある時点でその伸びが横ばい状態になる可能性をもっている。このため計画期間内の水供給施設整備方式のいづれでは投下資本の過大な遊休に伴う損失が懸念される。一方、構造変化が計画期間内に起こらない可能性が大きいわけで、そのまま需要の伸びが続けたにも関わらず水供給が十分でない事態も起こりうる。
- ③ 大都市Aに比べて小都市Bの水需要の伸びが非常に小さいとする。そこで小都市Bでは計画期間中に構造変化の発生の可能性を考えなくても良いものとする。また、小都市Bでは、常時水需要を満足させるものと設定する。
- ④ 次に水供給施設と広域ネットワークシステムの形態・ルートをも(図-2)に示すように設定する。大都市Aは、自水系内に存在している水源A、小都市Bからの送水なら

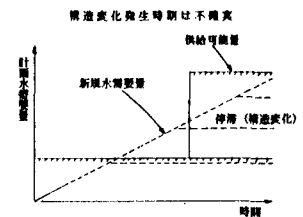


図-1 構造変化

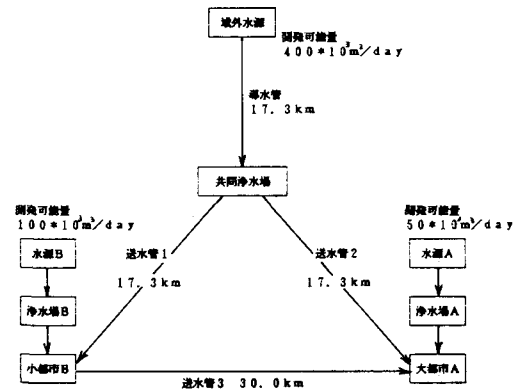


図-2 広域ネットワークシステム

びに域外水源から水供給を受ける。

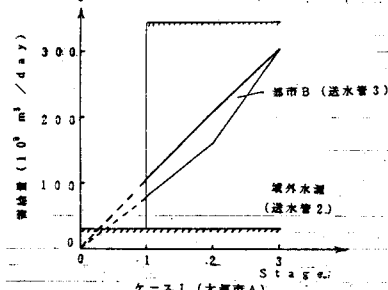
⑤ 評価関数としては、建設費用、維持管理費用、施設  
 休止に対するペナルティ費用、水不足・水休止のペナル  
 ティ費用を取り上げる。(図-3参照) ここでは、構造  
 変化の発生に伴う投下資本の損失を施設休止に対するペ  
 ナルティとし、また水供給不足によるときの需要サイ  
 ドの損失を水不足のペナルティとして評価する。評価は  
 計画対象期間内のみとし、これを分割した各ステージご  
 との評価項目の総和を全期間にわたって累計したものと  
 取り上げる。ここでは、あわせて構造変化の発生を指数分布に従う  
 とみなして確率論的に考えているので評価関数は毎期の総利益の期待  
 値の最小化をとることになる。

3. 結果の分析: モデルの分析に当っては(表-1)の各ケース  
 を設定した。この際、パラメータ値を(表-2)のように定めた。

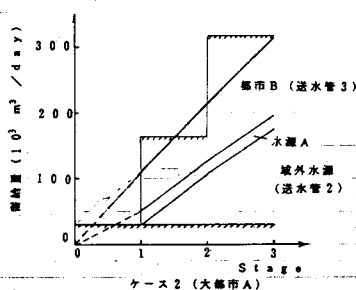
ケース1では、都市Aは域外水源から全面的に供給を受けており、このための供給施  
 設の規模がきわめて大きくなる。このとき域外水源である水源Aからの取水供  
 給は皆無である。ケース2は、ケース1の域外水源施設を1期分遅らせた場合である。  
 この場合、結果的にオ1期目の水源Bへの依存度が高くなるのは当然であろう。また、  
 総期待費用がケース1より割安になっている。つまり、この程度の構造変化を考慮す  
 る場合でも、一括供用を行なうよりも段階的に拡張を行なう方が合理的であることが  
 わかる。ケース3では、ケース1と同様のことが言える。ケース4は、ケース1に比  
 して構造変化発生の可能性が増大した場合であり、この場合には、水休止のペナル  
 ティの期待費用が相対的に大きくなる。このため総期待費用が増大している。

また、このような状況下では、1つの施設系を大規模化して規模の経済性を  
 追求するよりも逆に施設を分散させて施設休止のリスクを回避した方が好ま  
 しいことがわかる。

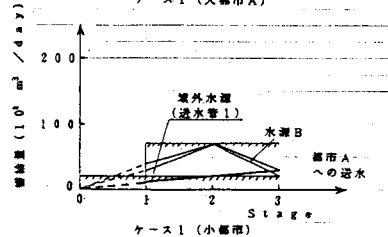
4. おまけ: この他の詳細な分析については講演時にゆずる。



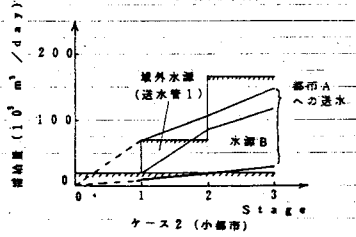
ケース1 (大都市A)



ケース2 (大都市A)



ケース1 (小都市)



ケース2 (小都市)

|                 |                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|
| 建設費用            | $(K-k+1) \cdot V \cdot C^k(q) \cdot g(r)$                 |
| 維持管理費用          | $\sum_{k=1}^K (V/2) \cdot (C^k(q) + O^k(s^k))$            |
| 施設休止に対するペナルティ費用 | $\sum_{k=1}^K (V/2) \cdot [C^k(q) - C^k(s^k)] \cdot g(r)$ |
| 水不足に対するペナルティ費用  | $\sum_{k=1}^K (V/2) \cdot (SA^k + SA^k) \cdot P$          |

|            |                                |
|------------|--------------------------------|
| K          | : 全ステージ数                       |
| V          | : 単位検討期間                       |
| k          | : kステージ                        |
| $C^k(q)$   | : ステージk期末における規模qの建設費用          |
| $O^k(s^k)$ | : ステージk期末における処理量 $s^k$ の維持管理費用 |
| $g(r)$     | : 資本回収係数                       |
| $SA^k$     | : ステージkにおける大都市Aでの水不足量          |
| P          | : 1単位当りのペナルティ費用                |

図-3 各費用関数

表-1 分析ケース

|      |                              |
|------|------------------------------|
| ケース1 | すべての施設をステージ1期末で供用            |
| ケース2 | ケース1の域外水源施設の供用を1期遅らせる        |
| ケース3 | ケース1の水源B施設の供用を1期遅らせる         |
| ケース4 | ケース1での構造変化の発生確率を0.05から0.1にする |

表-2 パラメータ

| 計画対象期間                                         |       |      |
|------------------------------------------------|-------|------|
| 計画対象期間                                         | 15年   |      |
| 単位検討期間                                         | 5年    |      |
| ステージ数                                          | 3     |      |
| 計画水需要量 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /day)   |       |      |
| ステージ                                           | 大都市A  | 小都市B |
| 0                                              | 0     | 0    |
| 1                                              | 104.3 | 10.0 |
| 2                                              | 208.5 | 20.0 |
| 3                                              | 312.7 | 30.0 |
| 現存水供給可能量 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /day) |       |      |
| 大都市A                                           | 30.0  |      |
| 小都市B                                           | 20.0  |      |

表-3 結果

| ケース1 (単位: 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /day) |       |       |       |
|------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                                | ステージ1 | ステージ2 | ステージ3 |
| 域外水源                                           | 56.5  | 178.6 | 273.8 |
| 送水管1                                           | 8.0   | 48.5  | 0.0   |
| 送水管2                                           | 48.5  | 130.1 | 273.8 |
| 水源A                                            | 0.1   | 0.1   | 0.1   |
| 水源B                                            | 10.1  | 0.1   | 9.9   |
| 送水管3                                           | 27.3  | 48.1  | 0.3   |
| 1056.7億円                                       |       |       |       |
| ケース2 (単位: 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /day) |       |       |       |
|                                                | ステージ1 | ステージ2 | ステージ3 |
| 域外水源                                           | 0.0   | 142.8 | 243.5 |
| 送水管1                                           | 0.0   | 63.8  | 97.6  |
| 送水管2                                           | 0.0   | 77.9  | 145.9 |
| 水源A                                            | 19.9  | 20.0  | 19.7  |
| 水源B                                            | 49.9  | 19.7  | 29.9  |
| 送水管3                                           | 59.8  | 86.1  | 118.4 |
| 1001.7億円                                       |       |       |       |
| ケース3 (単位: 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /day) |       |       |       |
|                                                | ステージ1 | ステージ2 | ステージ3 |
| 域外水源                                           | 66.2  | 178.4 | 272.8 |
| 送水管1                                           | 17.7  | 48.6  | 0.4   |
| 送水管2                                           | 48.5  | 129.8 | 272.4 |
| 水源A                                            | 0.1   | 0.2   | 0.1   |
| 水源B                                            | 0.0   | 0.3   | 10.3  |
| 送水管3                                           | 27.1  | 49.6  | 0.7   |
| 1058.1億円                                       |       |       |       |
| ケース4 (単位: 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /day) |       |       |       |
|                                                | ステージ1 | ステージ2 | ステージ3 |
| 域外水源                                           | 41.5  | 174.3 | 235.2 |
| 送水管1                                           | 36.0  | 56.3  | 77.5  |
| 送水管2                                           | 5.5   | 118.9 | 157.7 |
| 水源A                                            | 9.8   | 9.8   | 9.8   |
| 水源B                                            | 29.3  | 9.5   | 50.3  |
| 送水管3                                           | 75.6  | 66.7  | 118.7 |
| 1447.2億円                                       |       |       |       |