

多目的計画法による最適揚水問題について

京都大学工学部 正会員 青木一男、嘉門雅史
京都大学工学部 学生員 ○ 加藤博敏

1. はじめに ----- 揚水量と地下水位低下量の関係を考える時、利水の立場からするとより多くの地下水が必要になり揚水量の増大が望まれる。一方、地盤沈下や塩水化などの環境保全の立場からすると、水位低下量の抑止が望まれる。このような場合に、相反するいくつかの目的を満足すべく、合理的な揚水量と地下水位低下量を決定しようとするものが、最適揚水問題である。しかし、従来の最適揚水問題では、相反する種々の目的の中から最も重要と思われるものを一つ選択し、他の目的はあいまいなままに、その目的だけが最大限に満足されるよう決定されてきた。そこで本研究においては、このような背景を踏まえた上で、満足すべき種々の目的間の相互関係を明らかにし、最適揚水問題を的確に決定する手法として、多目的計画法を用いて検討するものである。

2. 多目的計画法による定式化 ----- 多目的計画問題は、目的関数が複数個存在するため、多くの場合に解は1点ではなく多くの非劣解なる点の集合として得られるという特徴を有しており、最終的には決定者がこの中から一つの解を選択しなければならないものである。この目的関数は次のように表すことができる。

$$\text{目的関数 } f(x) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), \dots, f_p(x)) \rightarrow \text{最小化} \quad (1)$$

ここに、 $f_1(x), f_2(x), \dots$ などは、個々の目的関数である。

多目的計画問題を解く手法として、種々の手法が提案されているが、その中で ε -制約法を適用すると次式のように表される¹⁾。

$$\text{目的関数 } f_1(x) \rightarrow \text{最小化}, \quad \text{制約条件 } f_k(x) \geq \alpha_k, \quad k=2, 3, \dots, p \quad (2)$$

このように変形することで、多目的計画問題を、あたかも目的関数が $f_1(x)$ ひとつの線形計画問題のように解くことができる。すなわち、多目的計画問題の非劣解集合は、 α_k に対するパラメトリック手法を用いて線形計画問題の集合を解くことと等価のものと考えられる。また、制約条件 $f_k(x) \geq \alpha_k$ に相当する双対変数は、目的関数 $f_1(x)$ に対する k 番目の目的関数の付加価値にあたり、解析例で示すように多目的計画問題を解く上で重要な意味を持つものとなる。このような多目的計画法と有限要素法を組み合わせることにより最適揚水問題を解析する。

3. 解析例 ----- 解析モデルとして図1を用いる。図1に示す12本の揚水井候補地点を選択し、この揚水井候補地点から最適揚水地点を決めることとした。多目的計画法における第1目的関数として地下水位総和最大化を、第2目的関数として揚水量最大化を設定した場合を考える。第2目的関数の揚水量 α_2 をいくつか設定し得られた非劣解集合を図2、表1に示した。図1は地下水位総和と揚水量の関係を示したものであり、これより揚水量

Kazuo AOKI, Masashi KAMON and Hirotoishi KATO

の増加により地下水位総和が減少して行く過程がよく分かる。また、表1には、それぞれの揚水量に対する、最適揚水井の位置、それぞれの井戸での揚水量、および付加価値の逆数を示した。付加価値の逆数は、第2目的関数の揚水量が単位量増加することにより、第1目的関数の地下水位総和がどれだけ減少するかを示すもので、多目的計画法の解析過程で求められる重要なパラメータである。次に解析結果について述べる。まず揚水量が $10\text{m}^3/\text{h}$ の場合、最適揚水地点は節点番号8であることが明らかになった。そして、揚水量 α_2 を増加させると共に揚水井の数が増加し、付加価値の逆数に従い地下水位低下量の和が減少する。揚水量 α_2 が $38\text{m}^3/\text{h}$ 付近で揚水不可能となる。このように付加価値を求めることにより、供給水量すなわち揚水量と地下水位低下量の関係が明らかになり、地下水開発の計画段階において、どれだけの水量開発が可能か、また揚水量を増すことにより周辺地域にどの程度の影響が現れるかが、即座に検討できるようになるものと考えられる。

4. おわりに ----- 多目的計画法を用いた最適揚水問題の検討を行った。非劣解集合を求めることにより、地下水位総和と揚水量の関係を明かにした。また、揚水量が単位量増加することにより、地下水位総和がどれだけ減少するかを示す指標として付加価値の逆数が有効であることを明らかにした。

以上のことより、複数の目的関数を設定し、多目的計画法による解析を行わない限り、最適な揚水井の配置および揚水量の配分を容易に決定することができない。なお、本研究に際し多大な御援助、御指導をいただいた京都大学赤井浩一教授に深く感謝いたします。
 <参考文献> 1)伊理政夫、今野浩：数理計画法の応用、産業図書、1982

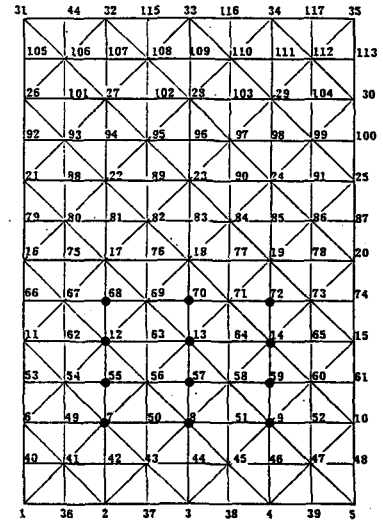


図1 解析モデル

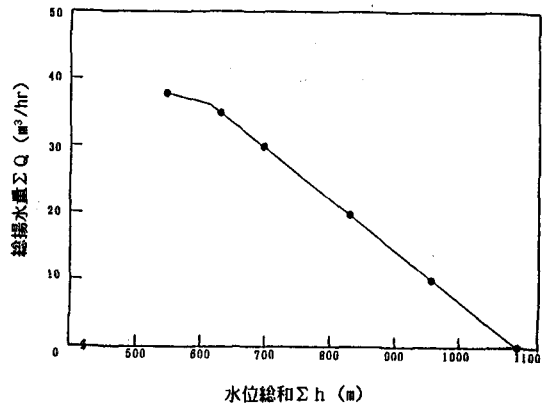


図2 揚水量と水位総和の関係

表1 解析結果

第1目的関数 水位総和(m)	第2目的関数 揚水量(m^3/hr)	揚水配分		付加価値 の逆数
		揚水井位置	揚水量(m^3/hr)	
1089	0	—	—	—
958	10	8	10	13.05
825	20	7 8	0.8 19.2	13.35
694	30	7 8 9	13.5 14.1 2.4	13.35
627	35	7 8 9	12.9 11.6 10.6	13.35
547	38	7 8 9 55 59	10.1 9.5 10.3 4.3 3.8	39.68