

酸性雨汚染防止計画問題のゲーム論的分析 —削減負荷量配分コンフリクトを対象として—

鳥取大学工学部 正会員 岡田憲夫

日本アイ・ビー・エム(株) 正会員 ○三上祥子

 $i=1, \dots, n$, 被害地を $j=1, \dots, m$ で表し, 汚染源 i から発散されている汚染物質の量を e_i , 被害地 j における現在の沈降量を d_j とし, 許容沈降量を $d_{j\max}$ とする。($\Delta d_j = d_j - d_{j\max}$ を被害地 j における削減負荷量基準値とする。) さらに, 伝達係数を a_{ij} とし, 削減割当て負荷率を ρ_{ij} とする。②汚染源 i の汚染物質の削減量 (x_i ; 変数) に関する費用関数を $f_i(x_i)$ とする。

(第1段階)

③被害地レベルで ρ_{ij} を決定する方法として, a 方式, ea 方式, max・min 方式の3通りを考える。

(表-1 参照)

④汚染源が提携を組んで, 各グループに課せられた削減義務を全体で満たすことが可能とする。

(第2段階)

⑤全提携 N を組んだ場合の関心は, $i \in N$ について

1. はじめに

本研究では, 広域汚染として最近問題になっている酸性雨汚染防止計画問題を取り上げる。その際, 被害地で削減すべき負荷量を各汚染源に配分する過程で生じるコンフリクトをゲーム論的に分析する。モデル化にあたっては, その汚染物質削減プロセスが被害地レベルでの上位の計画問題とそれに制約を受ける汚染源レベルでの下位の計画問題という階層構造を持つことに着目した定式化を行う。さらに, 簡単なケース・スタディを行うことによってモデルの有用性について検討する。

2. 汚染物質削減計画プロセスの概要

本研究で想定する削減計画プロセスは以下の通りである。(これについて整理したものを図-1に示す。)

1) 第1段階・・・各被害地について沈降量の上限値、(許容沈降量)と、それを各汚染源にどのように割り当てるかを表す削減割当て負荷率を決定する。(被害地レベルでの総削減負荷量配分計画と呼ぶ。)

2) 第2段階・・・汚染源が, 協力して全体での費用を最小にするような各汚染源の実削減量を決定する。(その結果, それにかかる実処理費用が計算できる。)(汚染源レベルでの総削減負荷量配分計画と呼ぶ。)

3) 第3段階・・・第2段階でかかった総費用を, 各汚染源の削減義務を反映するように配分する。この問題は費用割り振りゲームとして定式化できる。(汚染源レベルでの費用割り振り計画と呼ぶ。)

4) 第4段階・・・第2段階でかかった実処理費用と第3段階で決定

表-1 ρ_{ij} の設定

a方式	汚染源 i で発散された汚染物質の被害地 j への寄与度を反映させる方法。伝達係数 a_{ij} について比例配分する。
ea方式	伝達係数を汚染源 i での発散量 e_i で重みづけして, 被害地 j への総沈降量で見た寄与度を反映させる方法。
max・min方式	伝達係数や, 発散量の多い汚染源に負担が偏らないように上の2つの方式の中間値をとるようにする方式。

3. モデル化

①汚染源を

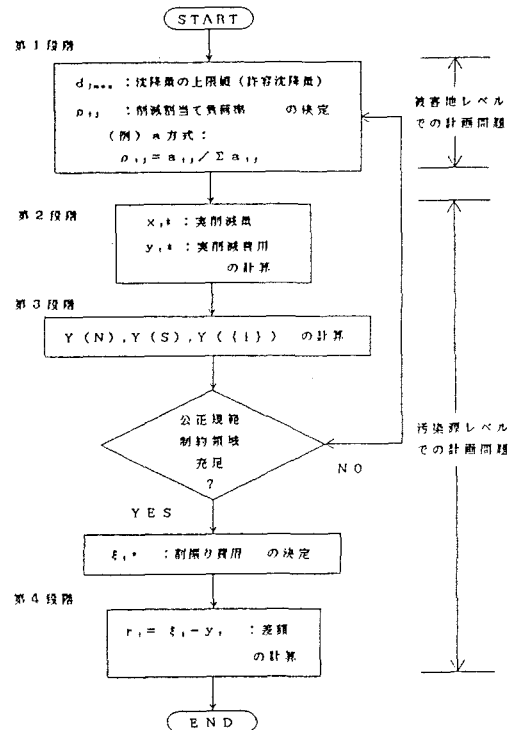


図-1 汚染物質削減計画プロセス

$Y(N) = \min_{x_i} \{ \sum_{i \in N} f_i(x_i) \mid \sum_{i \in N} a_{ij} x_i \geq \Delta d_j, 0 \leq x_i \leq e_i \}$
 となるような x_i^* と $Y(N)$ を求めることである。この x_i^* が汚染源 i の実削減量、 $f_i(x_i^*)$ が実処理費用となる。
 (第3段階)

⑥汚染源 i が単独で削減を行う場合は $i \in N$ について
 $Y(\{i\}) = \min_{x_i} \{ f_i(x_i) \mid a_{ij} x_i \geq \rho_{ij} \Delta d_j, 0 \leq x_i \leq e_i \}$
 となるような x_i と $Y(\{i\})$ を求めることが関心である。

⑦部分提携 S を組んだ場合の関心は $i \in S$ について
 $Y(S) = \min_{x_i} \{ \sum_{i \in S} f_i(x_i) \mid \sum_{i \in S} a_{ij} x_i \geq \rho_{ij} \Delta d_j, 0 \leq x_i \leq e_i \}$
 となるような x_i と $Y(S)$ を求めることである。

⑧このような提携が成立するための条件として以下のような公正規範が成立することを前提にする。

$Y(\{i\}) \geq \xi_i^*$, $Y(S) \geq \sum_{i \in S} \xi_i^*$, $Y(N) \geq \sum_{i \in N} \xi_i^*$
 ただし、 ξ_i^* は汚染源 i に対する割振り費用とする。
 上の式を満たす解領域は『コア』と呼ばれ、その中の唯一の解を求める手法として仁などがある。

(第4段階)

⑨割振り費用 ξ_i^* と実処理費用 x_i^* の差額 r_i を計算する。 $r_i > 0$ ならばそれを他の汚染源に支払い、 $r_i < 0$ ならばそれが他の汚染源から支払われる。

4. ケース・スタディー

本モデルの有用性を検討するためにアメリカ・カナダ地域を対象に、いくつかの計算を実施し、分析を行った。その際、表-2に示すような通りの計算ケースを設定した。

計算結果を表-3(ケースAのみ)と表-

4(ケースA~E)に示す。これより以下のことが言える。

①削減割当て負荷率の決定のしかたの特徴を反映している。 $\max \cdot \min$ 方式で決定した場合は他の方式と比較して各汚染源の費用負担に偏りが少ない。

②発散量、伝達係数の相対的に大きいもののほど費用負担が大きい。

③その他、総合すると公正な費用配分になっている。

④この意味で本研究で提案したモデルは1つの有用な分析手段になり

うると言える。

5. むすび

汚染物質削減計画は、ゲーム理論を用いて分析が可能であることが示された。

詳細については講演時に説明する。

表-2 計算ケース

計算ケース	設定条件(ケースAとの違い)
ケースA	標準ケース
ケースB	ケースAの伝達係数において0の要素をすべて0.1に置き換えた場合
ケースC	ケースAの伝達係数において汚染源3に関する要素をすべて20%引き上げた場合
ケースD	ケースAの伝達係数において汚染源3に関する要素をすべて20%引き下げた場合
ケースE	ケースAにおいて50%だった各被害地での削減比率をすべて70%にした場合

表-4 仁により求めた割振り費用

(10⁶dollar/year)

	a) a方式		b) e a方式		c) max-min方式	
	汚染源	費用	汚染源	費用	汚染源	費用
ケースA	1	0.1422	1	0.0692	1	0.0953
	2	0.1410	2	0.2046	2	0.1792
	3	0.2566	3	0.4258	3	0.2723
	4	0.3255	4	0.1657	4	0.3105
ケースB	1	0.1198	1	0.0650	1	0.0904
	2	0.2709	2	0.2143	2	0.2006
	3	0.1565	3	0.4246	3	0.2607
	4	0.3189	4	0.1614	4	0.3135
ケースC	1	0.1196	1	0.0557	1	0.0848
	2	0.1153	2	0.1848	2	0.1599
	3	0.1853	3	0.3024	3	0.1847
	4	0.2611	4	0.1382	4	0.2518
ケースD	1	0.1654	1	0.0901	1	0.1067
	2	0.1928	2	0.2268	2	0.1927
	3	0.3466	3	0.5794	3	0.4066
	4	0.3872	4	0.1955	4	0.3860
ケースE	1	0.2495	1	0.1126	1	0.1572
	2	0.2456	2	0.3121	2	0.2660
	3	0.3994	3	0.7255	3	0.4686
	4	0.5083	4	0.2434	4	0.5018

表-3 削減量と費用

(削減量...10⁶Kg/year; 費用...dollar/year)

	a方式		e a方式		max-min方式	
	削減量 x_i^*	費用 $Y(N)$	削減量 x_i^*	費用 $Y(N)$	削減量 x_i^*	費用 $Y(N)$
N	1	0.0000	0.8653	0.0000	0.0000	0.8653
	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	4	1.61540	1.61540	2.00000	2.00000	1.61540
S	1	0.0000	0.5837	0.0000	0.0000	0.5837
	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	3	7.4102	8.4270	0.0000	7.4102	0.6298
	4	0.0000	0.0000	0.4502	0.0000	0.6298
1	1	0.0000	0.7728	0.0000	0.0000	0.7728
	2	7.5000	7.5000	0.0000	7.5000	0.0000
	3	2.8606	2.8606	0.0000	2.8606	0.0000
	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	1	0.0000	0.7836	0.0000	0.0000	0.7836
	2	8.3713	8.3713	0.0000	8.3713	0.0000
	3	1.5000	1.5000	0.0000	1.5000	0.0000
	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	1	3.2069	0.5709	3.2069	3.2069	0.4468
	2	5.1731	5.1731	3.6731	3.6731	0.4468
	3	0.0000	0.4427	0.0000	0.0000	0.4427
	4	6.0329	6.0329	7.5199	7.5199	0.4427
4	1	0.0000	0.5117	0.0000	0.0000	0.5117
	2	6.7067	6.7067	3.7260	3.7260	0.2456
	3	0.0000	0.5129	0.0000	0.0000	0.5129
	4	6.7186	6.7186	8.0030	8.0030	0.5331
2,3	1	0.0000	0.6271	0.0000	0.0000	0.6271
	2	3.0000	3.0000	4.3517	4.3517	0.5476
	3	5.9835	5.9835	1.5000	1.5000	0.5476
	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3,4	1	7.4122	0.6727	7.5000	7.5000	0.7125
	2	1.5000	1.5000	1.6664	1.6664	0.7125
	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
単独行動	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000