

協力ゲームのコア

— OPEC 諸国の意思決定 —

船木 由喜彦

1. OPEC の意思決定ゲーム

1973年の第1次オイルショックで石油価格は4倍になった。この価格を維持する OPEC の協定は、まもなく崩れるであろうといわれたが、結局協定は守られ価格は維持された。これは、OPEC 諸国が、価格決定だけでなく産出量調整についても協力関係を成立させたことを示している。しかし、この決定に際し、諸国間の利害は対立し、今後この対立を含む協力関係は持続されると思われる。このような状況は、まさにゲーム理論的であるといえよう。したがって、OPEC の原油価格政策と、その安定性の分析には、ゲーム理論が有効であると思われる。本稿では、かかる状況をコアの概念を用いて分析する。

OPEC 諸国の原油価格と産出量調整の意思決定ゲームは、次にのべる要素によって記述することができる。

(1) プレイヤー

OPEC 加盟諸国は13カ国だが、Eckbo [1] にしたがって、それを3つのタイプに分け、ゲームは次の3人プレイヤーから構成されるとする¹⁾。

穏健派(M)：サウジアラビア、クウェート、アラブ首長国連邦、カタール、リビア
価格強硬派(P)：イラン、ベネズエラ、アルジ

ふなきゆきひこ 東京工業大学大学院システム科学専攻

エリア

追従生産者(F)：インドネシア、ナイジェリア、エクアドル、ガボン、イラク

OPEC の約9000億バレルの原油埋蔵量の比率は、M 64%、P 19%、F 17%であり、日産約3700万バレルの生産能力の比率は、M 52%、P 28%、F 20%である。さらに、3人のプレイヤーは次のような性質をもっている。プレイヤーMは、比較的少ない人口の国々で、豊富な金融資産をもち、急激な石油価格上昇に対しては慎重である。価格決定に対しては最も大きな力をもつ。プレイヤーPは人口の多い国々で、現在収入をより重くみており、高価格を主張する。価格決定には、産出比率に比較して大きな発言力をもつ。プレイヤーFは最も貧しい国々で、人口が非常に多く、現在の収入増加を第1に考えている。したがって高価格を望んでいるが、そのための産出制限は好まない。価格決定に対する力はあまりない。

(2) 提携構造

価格政策と産出量調整の決定において、プレイヤーは、その利害関係から提携を形成し、共同で決定をする。ゲームの提携構造とは、その交渉において、いかなる提携が形成されるかを表わし

1) Eckboは3つのグループをそれぞれ“hard core”, “price-pushers”, “expansionist fringe”とよんでいる。

ている。ここではMの価格に対する影響力と各プレイヤーの性質を考慮して、次の3つの提携構造のみが可能であるとする。

I : {(M, P, F)}

II : {(M, P), (F)}

III : {(M), (P), (F)}

提携構造Iでは、提携(M, P, F)が共同で原油価格と価格維持に必要な各プレイヤーの産出削減割当を決定する。IIでは、提携(M, P)だけで、原油価格を決定し、M, P 2人の子間の産出削減割当をきめる。

このときFは、価格の受け手として行動し、可能な最大産出量を生産し、その価格のもとで、最大利潤をあげようとする。IIIでは、Mひとりて原油価格を決定し、Mのみが産出制限をする。このとき、P, Fは価格の受け手として行動し、可能な最大量を産出する。

このように、Mを含む提携(M, P, F), (M, P), (M)のみが価格と産出調整の決定能力をもつので、これらを価格決定提携とよぶ。価格決定提携は、そのメンバー全員の合意によって形成される。提携形成について合意が得られないときは、提携構造IIIが実現され、非協力的な状況におちいる。

(3) 戦略

価格決定提携のプレイヤーは、共同で、将来の価格政策を決定し、提携内のメンバーの産出削減割当を決定する、これを提携の**戦略**という。提携が戦略をとるためには、提携内のすべてのメンバーの合意が必要である。合意に達しないときは、この場合も提携構造IIIが実現され、Mが単独で戦略を決定する。価格決定提携に属さないプレイヤーは、単に可能産出量を最大化し、戦略の決定には関与せず、また独自に戦略を決定し実行する力をもたない。

表1 価格決定提携の価格政策

	価格政策			
	A	B	C	D
下の①, ②がおこらない場合に計画された各期の価格変化	-5%	0%	-10%	0%
① 予備生産能力が a を越え、 $(t-1)$ 期産出量 $<b(t-2)$ 期産出量がおこった場合の価格カット	20%	30%	30%	0%
② 予備生産能力が15%を割り $(t-1)$ 期産出量 $>c(t-2)$ 期産出量がおこった場合の価格上昇	15%	60%	10%	0%
a の 値	25%	30%	20%	
b の 値	1.00	0.95	1.00	
c の 値	1.02	1.00	1.00	

(出所：参考文献 [3])

価格決定提携の価格政策は表1で与えられる。この表は、前期の価格に対する実質価格のきめ方を示している。第1期の価格はバレル当り12ドルと、始めから与えられている。価格政策Aは、①や②がおこらない場合、各期ごとに5%ずつ実質価格を引き下げること示している。また、①すなわち予備生産能力が25%を越え、産出量(OPECに対する需要量)が減少しているときには、実質価格を20%下げ、②すなわち予備生産能力が15%を割り、産出量が増加しているときには、実質価格を15%上げること示している。A, B, Cの正規の価格策 -5%, 0%, -10% からみて、基本的には、Bが強硬策、Cが穏健策、Aがその中間と考えられる。Dはできる限りバレル当り12ドル(実質価格)を保つという単純な策である。

価格決定提携の産出削減割当は、限界増加割当と限界減少割当で表わされる(表2)。前者は、産出量(OPECに対する需要量)1単位の増加に対する、提携の各メンバーの産出量の増加割当を示す。各メンバーにとって、この割当が大きいほど、利潤が大きくなる。後者は、産出量1単位の減少に対する、提携の各メンバーの産出量の削減割当を示す。各メンバーにとってこの割当が小さ

いほど、利益が損なわれない。

(4) 国際石油市場の状況

プレイヤーの交渉で提携構造が定まり、戦略が決定されると、国際石油市場の状況によって原油価格の動向が定まる。石油市場のパラメータにはいろいろ考えられるが、ここでは、需要成長率、需要弾力性、非 OPEC 諸国の産出量の伸び率を考え、OPEC 諸国は市場調査によって同一の値を想定しているとする。この値によって楽観的な場合と悲観的な場合の2つのケースを考える。ケースAは、需要弾力性(バレル当り12ドルの点における弾力性)が -0.16 、非 OPEC 諸国の産出量の伸び率が $1/2\% - 2\%$ 、需要成長率 $2\% - 6\%$ の場合で、OPEC 諸国にとって楽観的な場合である。ケースBは、需要弾力性が -0.33 、非 OPEC 諸国の産出伸び率 $2\% - 4\%$ 、需要成長率 $2\% - 6\%$ で、OPEC 諸国にとって悲観的な場合である。

(5) 利得

ある石油市場の状況のもとで、価格決定提携が戦略を決定すると各期の価格、需要量が定まり、各期のプレイヤーの利潤が定まる。このゲームでは、プレイヤーの利潤は時間とともに変化し、それを現在評価しなければならないから、各期の利潤を現在価値に直し、その和をプレイヤーの利得とする。その際、各プレイヤーの現在収入に対する欲求を考え、M、P、Fの割引率はそれぞれ、 3% 、 5% 、 10% とする。国際石油市場の状況がケースA、ケースBの場合の、提携の戦略に対応する利得の表を表2、表3に示す。表2の第1行は、価格決定提携(M、P、F)が形成され、価格政策Cと、表のような限界増加割当、限界減少割当を決定したときのプレイヤーM、P、Fの利得がそれぞれ2兆9400億ドル、8200億ドル、3810億ドルであることを示している。表2の戦略7と8をくらべると、価格政策は同じであるが、Mに対し

て不利でPに対して有利な限界割当の戦略7は、Mの利得を減少させ、Pの利得を増加させている。このとき、Fは価格の受け手として行動するので、どちらの場合も同じ利得を得ている。表2と表3をくらべると、全体的に、表2の利得のほうが大きい。これは、ケースAが楽観的なケースであるからである。

提携の戦略は表に記載された以外にも、いろいろ考えられるが、ここでは表の戦略のみが利用可能であるとする。

以上でゲームのルールが定まった。プレイヤーは、これらのルールをすべて知ったうえで、利得を考慮して、提携を形成し戦略を決定する。

ここで記述されたゲームは戦略形協力ゲームであるが、特に提携構造とそれとの利得分配の関係に着目すれば、離散的分割関数形ゲームとよばれるものになる([6] 参照)。

2. ゲームの解

以上のようなゲームにプレイヤーが直面したとき、いかなる提携が形成され、どのような戦略がとられるのであろうか。それを分析しよう。協力ゲームを分析する際、一般には、プレイヤーの利得だけを問題にし、利得分配のレベルで分析するが、ここでは、ゲームが戦略形で表わされているので、戦略のレベルで分析する。両者に本質的な差はなく、解の概念も同じように定義することができる。

2.1 個人合理的戦略

プレイヤー間の交渉がまとまらず、提携が形成されないときでも得ることのできる利得は、各プレイヤーのもつ基本的な値と考えることができる。プレイヤーは、協力することによって、この値以上の利得を得ようと交渉し、提携を形成して、提携の戦略をとろうとするであろう。しかし、この値以上を保証する戦略がないときには、

表 2 ケースAにおけるプレイヤーの利得

提携構造	価格決定提携	戦略番号	価格政策	限界増加割当			限界減少割当			利得 (単位: 10億ドル)		
				M	P	F	M	P	F	M	P	F
I	(M, P, F)	1	C	0.05	0.2	0.75	0.75	0.2	0.05	2940	820	381
		2	C	0.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.1	3023	803	376
		3	A	0.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.1	2453	685	331
		4	A	0.4	0.35	0.25	0.4	0.35	0.25	2756	656	306
		5	B	0.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.1	2077	626	336
		6	B	0.4	0.35	0.25	0.4	0.35	0.25	2416	587	276
II	(M, P)	7	C	0.3	0.7		0.7	0.3		2967	803	389
		8	C	0.65	0.35		0.65	0.35		3062	774	389
		9	A	0.65	0.35		0.65	0.35		2493	649	349
		10	B	0.65	0.35		0.65	0.35		2114	565	374
		11	D	0.3	0.7		0.7	0.3		2571	660	328
III	(M)	12	D	1			1			2527	686	328
		13	A	1			1			2236	753	348
		14	B	1			1			1544	739	364

(出所: 参考文献 [2])

プレイヤーはそのような交渉に入らないであろう。この各プレイヤーのもつ基本的な値を、プレイヤーの保証水準という。このゲームにおける各プレイヤーの保証水準を求めてみよう。

プレイヤー間の提携が形成されないとき、すなわち、価格政策や産出量削減割当について合意が得られないとき、提携構造IIIが生じる。このとき戦略を決定できるのはMだけであるから、Mは単独で自分の利得を最大化する戦略をとるのである。この戦略の実現するMの利得が、このゲームのMの保証水準と考えられる。したがってケースAでは、Mは戦略12をとり、Mの保証水準は2527である。

Mが単独で戦略を決定すると、P、Fは価格の受け手として行動するから利得が定まる。その利得は、提携構造IIIのもとで、当然帰着する結果と考えられるので、これをP、Fの保証水準と考える。ケースAのP、Fの保証水準は、686、328である。

価格決定提携の戦略があるメンバーに保証水準以上の利得を与えないならば、そのメンバーは、その戦略を拒否するであろう。したがって、価格

決定提携の全メンバーに、各自の保証水準以上の利得を与えるような戦略が考慮の対象になる。このような戦略を個人合理的戦略という。ケースAの個人合理的戦略は、戦略1、2、7、8、12である。

ケースBでは、M、P、Fの保証水準はそれぞれ、1617、469、228であるから、個人合理的戦略は13だけである。

このようにして、とられる戦略の範囲はせばめられたがまだ十分とはいえない。それは、ケースAにおいて、個人合理的戦略12はとられないと考えられるからである。なぜなら、価格決定提携内の全メンバーに戦略12が与える利得より、より大きな利得を与える戦略1が存在するので、戦略12をとるくらいならば、全員一致で戦略1をとるからである。それでは、いかなる戦略に制限されるべきであろうか。

2.2 コア

価格決定提携Sの戦略*i*と価格決定提携Tの戦略*j*を考える。提携Sに属するメンバー全員に対し、*i*の与える利得が*j*の与える利得より大きい

表 3 ケースBにおけるプレイヤーの利得

提携構造	価格決定提携	戦略番号	価格政策	限界増加割当			限界減少割当			利得 (単位:10億ドル)		
				M	P	F	M	P	F	M	P	F
I	(M, P, F)	1	C	0.05	0.2	0.75	0.75	0.2	0.05	1749	442	208
		2	B	0.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.1	1259	447	224
		3	B	0.4	0.35	0.25	0.4	0.35	0.25	1454	419	197
		4	A	0.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.1	1696	445	212
		5	A	0.4	0.35	0.25	0.4	0.35	0.25	1770	436	202
		6	D	0.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.1	1474	450	222
II	(M, P)	7	A	0.1	0.9		0.9	0.1		1640	456	228
		8	A	0.65	0.35		0.65	0.35		1708	428	228
		9	C	0.1	0.9		0.9	0.1		1722	446	217
		10	B	0.2	0.8		0.8	0.2		1143	465	251
		11	B	0.65	0.35		0.65	0.35		1295	403	251
		12	D	0.2	0.8		0.8	0.2		1396	468	252
III	(M)	13	A	1			1			1617	469	228
		14	C	1			1			1191	481	231
		15	D	1			1			1356	503	252

(出所:参考文献[2])

とき戦略*i*は戦略*j*を支配するという。このとき、*i*はSのメンバーの協力のみで実行可能だし、Sのメンバー全員にとって*j*より*i*が好ましいので、SのメンバーはTを崩し、Sを形成しようとするであろう。ケースAでは、戦略12は3, 5, 6, 9, 10, 13, 14を支配している。また戦略1, 2, 7, 8は戦略12, 4, 11をすべて支配している。さらに、戦略11は5, 6を支配している。

コアとは、他のいかなる戦略にも支配されない戦略の集合のことである。本誌の武藤、杉山の論文では、コアを利得分配のレベルで定義しているが、その概念は共通である。コアに属する戦略は各メンバーにより好ましい利得を与える提携の戦略がないという点で安定である。個人合理的戦略では提携構造IIIの提携が形成されない場合を基礎に考えたが、コアでは価格決定提携の合意を基礎としている。また、Mの利得を最大にするような戦略は必ずコアに属する。したがってコアは、すべての価格決定提携に属するMの力を反映していると考えることができる。ケースAにおいて、コ

Aは戦略1, 2, 7, 8の4つであり、ケースBにおいては、戦略1, 5, 7, 9, 13の5つである。

2.3 ゲームの解

ここでは、コアに属する個人合理的戦略をゲームの解として考える。ケースAでは、戦略1, 2, 7, 8が、ケースBでは戦略13だけが、コアに属する個人合理的戦略である。

ケースAの4戦略の価格政策はいずれもCであるから、結局、ケースA(楽観的な場合)では、提携構造IかIIが実現され、比較的穏健な価格政策Cについて合意が得られるであろう。しかし、産出量削減割当については、4つの戦略のどれとも定めることができず、合意は得られない。したがって、価格政策に対しては、利害対立は小さいが、産出量削減割当に対しては、利害対立が激しいと考えられる。これは、価格政策がパイの大きさを決めるようなものであるのに対し、産出量削減割当は、きまった大きさのパイを分けるゼロ和ゲームのようなものと考えられるからである。4

つの戦略のうち、いずれの戦略がとられるかは、今後のプレイヤーの交渉で定まるであろう。

ケースB(悲観的な場合)では戦略13だけが得られた。したがってこの場合、提携構造Ⅲが実現し、各プレイヤーは独立に行動するであろう。ここでは産出削減割出のみならず、価格政策に対しても利害が大きく対立する。しかし、ケースBでも、戦略1で、MがP、Fに利得を50渡すこと(これを手付という)が許されれば、M、P、Fの利得はそれぞれ1649、492、258になり、戦略1は13を支配する個人合理的戦略になる。そこで1が新たなこのゲームの解になる。手付を譲渡しなくとも、限界増加割当や限界減少割当について、P、Fに対してさらに有利な戦略をとれば、結論が修正され、提携構造Ⅰが実現し、価格政策Cをとることになるであろう。このことは、価格政策についての対立が、産出量削減割当に関するMの

譲歩で解消され、協力関係が成立する可能性のあることを示している。

このように、市場の状況が悲観的な場合には、Mの若干の譲歩が必要ではあるが、OPECの協力関係は維持され、比較的穏健な価格政策がとられることが結論できた。

ここでは、石油市場パラメータを既知として扱ったが、不確実な場合にも、各ケースごとの利得とプレイヤーのリスク回避度から、利得表を作り分析することができる。

3. むすび

本稿ではOPEC諸国の価格決定と産出量調整を目的とする提携形成を、コアの概念を用いて分析した。コアの概念は、経済学、社会科学などの分野でも重要な概念であり、集団的意思決定の問題やカルテルの安定性の問題に対し非常に有効であると思われる。

参 考 文 献

- [1] Eckbo, P. L.: The Future of World Oil, Ballinger Publishing Co., Massachusetts, 1976
- [2] Gately, D.: OPEC Pricing and Output Decisions. *Applied Game Theory* (ed. S.J. Brams, A. Schotter, and G. Schwödiauer), Physica-Verlag, Würzburg-Wien, 1979, 303-312
- [3] Gately, D. and J.F. Kyle in association with D. Fisher: Strategies for OPEC's Pricing Decisions. *European Economic Review*, Vol. 10, 1977, 209-230
- [4] 鈴木光男: ゲーム理論入門, 共立全書, 共立出版, 1981, 第7章-第8章
- [5] 鈴木光男編: ゲーム理論の展開, 東京図書, 1973, 243-261
- [6] Thrall, R.M. and W.F. Lucas: N-Person Games in Partition Function Form. *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 10, 1963, 281-298

●ミニミニ●

●OR●

3次元の上げ底

日本にはむかしから上げ底という風習があった。菓子などの箱を、厚みを大きく作って内容物を水増しして見せようというやりかたである。当世、むかしながらの木箱の菓子折りなどは姿を消してしまったから、上げ底という言葉も死語となったのだろうか。

このごろのハイカラな菓子を買うと、箱の中はビニールのセパレータでポケット状に分離され、その中にはさらにひとつひとつ、ぶ厚いポリスチロールに包み込まれた菓子が出てくる。ぜんぶ皮をむいて裸にしてみると、中身は容器の何パーセントだろうかと疑いたくなる。

むかしの上げ底は厚さ方向だけであったから1次元だが、時代が進化した昨今では上げ底も次元が高くなって、ちょっと目には気つかぬところで消費者はいろいろと誤魔化される仕組みになってきた。よく気をつけなくては。
(小野勝章)