電力自由化と電源構成

猪野弘明，松村敏弘

概　要

本稿では，電力供給者の戦略的行動が電源構成に与える影響を分析する．電力自由化によって，従来は地域独占であった電力市場において，新規電力供給者が参入する．ただし，原子力のように初期投資や回収不能な管理費用，つまり埋没費用が相対的に大きな固定費用型の発電方法は，既存企業には利用可能だが，新規企業は使えない．そうした状況下において，電力自由化は市場における固定費用型発電の均衡容量を減らすだろうか．本稿は固定費用型発電の容量単位あたり費用が十分に低いときのみ，つまり元々原子力に十分な競争力があったときのみ自由化によってその均衡容量が減少することを示した．

キーワード

原子力発電，需要変動，新規参入，生産代替，生産阻止

Ⅰ．はじめに

1980年代からの世界的な規制改革の流れの中で，電力市場の自由化が進み，地域独占から競争的な市場へと変化してきた．日本においても電力市場の自由化は1995年の卸入札制度の導入に始まる．2001年からは小売市場の自由化も始まり，発電・小売を総合的に手がける事業者（PPS）の新規参入が始まっている[1]．電力を生産するには，原子力，水力，化石燃料による火力，地熱，バイオマス，風力，太陽光等，様々な電源が存在する．しかし，新規参入者と既存事業者の電源構成には大きな違いが見られる．既存事業者はベース電源の大きな割合を原子力発電に依存しているのに対し，新規参入者は今のところ原子力発電を電源ポートフォリオの中に持っていない．実際新規参入者が自力で新規の原子力発電所を建設して市場に参入するケースは，市場関係者，事業者，政策当局者いずれも想

1)　橘川（2004）及び小川・松村（2005）を参照せよ．

定していない．単に資金的な制約だけでなく様々な技術的な制約があるからである．

これを前提にすると，自然に次のような疑問が生じる．「電力自由化は原子力発電の推進に逆風なのではないか．自由化と原子力発電の推進は矛盾するのではないか．」新規参入者にシェアを大きく奪われる恐れがあれば，既存事業者（一般電気事業者）は原発の推進をためらい，一方新規参入者（PPS）が原発を使わないのであれば，原子力発電の容量は減らざるを得ないように見える．しかし一方で，原発のような限界費用の低い電源は一般に戦略的な価値が非常に大きい．既存事業者が十分な原発の容量を持てば新規参入者は激しい競争を見越して参入が難しくなる．したがって，競争にさらされてこそ原発の戦略的価値が高まる可能性もある．本論文では，原発の持つこの2つの側面に焦点を当て，自由化と電源構成の関係を分析する[2)]．

発電にあたってどのような電源がいかなる割合で用いられるか（電源構成）は，技術的側面，環境的側面，政治的側面と並んで，経済的な側面にも左右される．経済的に電源構成を決定する要因としては，需要と費用構造が重要であると考えられる．電力の需要は昼間と夜間で，または季節間で頻繁に変動している．いったん発電プラントの費用が支払われ埋没費用となると，原子力や水力のように，プラントの初期投資や回収不能な管理費用が相対的に大きな発電技術では，その発電容量以下に発電量を抑えても，ほとんど費用を節約することはできない．一方で，化石燃料やバイオマス等は発電時の投入に比較的大きな費用を要求する．従って，電力会社がその電力生産における電源を選択するにあたっては，化石燃料のような発電技術は需要の変動部分に対応して供給を調整するのに用い，原子力のような発電技術は需要の基幹部分に対して用いるのが，会社にとって効率的である．本稿は電源構成が決定される上でのこのような経済的側面に着目する[3)]．

しかし，発電技術の選択に関する上記の説明は，一企業内での意思決定に光を当てたに過ぎず，企業間の競争に関しては考慮されていない．市場が電力会社の地域独占である場合はこの説明だけで分析は足りるが，電力会社はいまや自由化により新規発電業者と戦略的依存関係にある．特に，新規発電業者は原子力や水力といった巨大な固定費用を必要とする発電技術は通常用いない[4)]．電力会社の独占の場合に比べて，このような競争者が電力市場に現れることは，これら固定費用型発電技術のプラント容量を減らすだろうか．本稿では，固定費用型発電の容量建設費用が十分に低く効率的な場合と，その容量が均衡に

2)　本論文の分析は固定費が大きく可変費の小さな電源全般に当てはまる．

3)　Hatrtman (1976) は完全競争市場で，Ishii (1979) は独占市場で，事前制御の投入と事後制御の投入が不確実な需要の下でどのように選択されるかを分析し，事前の「情報不足」の投入選択が事後の投入選択によって適切に調節されることを議論した．

4)　Dixit (1979) は，参入の固定費用が十分に大きいときには，既存企業が新規企業の参入を阻止することを示した．

おいて減少する場合は同値であることが示される．

さらに，固定費用型発電技術を用いる企業が当該技術に特化し，それ以外の発電技術を用いる企業と競争する場合も分析する．このような市場構造は，例えば，電力会社から原子力発電部門が分離され別会社になる場合などに起こりうる[5]．本稿の分析では，このような特化によって，固定費用型の発電容量はそれがさほど効率的でない場合は増加する．しかし，独占のケースに比べて当該技術が効率的なほど減少するという上記の結論は保たれる．

本稿の構成は以下の通りである．Ⅱ節では分析に用いる経済モデルを提示する．Ⅲ節では独占のケースを分析し，本節の第3段落で説明した電源構成選択の経済的要因が当該モデルによって抽出されていることを確認する．次いでⅣ節において，固定費用型発電以外で発電する新規企業をモデルに導入し，競争の影響に関して上記で提示された結論を導き出す．Ⅴ節では特化の影響を分析し，Ⅵ節において結論をまとめつつ本稿を締めくくる．

Ⅱ．モデル

ある地域における電力市場を考え，その市場構造は企業1と企業2における複占か，または基準ケースとして，企業1による独占であるとする．企業は，第1ステージにおいて，不確実な電力需要の下で電力の発電容量を決定し[6]，需要の判明（第2ステージ）後，第3ステージで，電力供給量を決定するというゲームをプレイする．同質な電力を生産する2種類の方法があるとし，一方を固定費用型発電，もう一方を可変費用型発電と呼ぶことにする．固定費用型発電は，可変費用型発電に比べ相対的に，発電容量の決定時の埋没費用は高いが，電力供給時の生産量に伴う可変的な費用は低い技術であり，可変費用型発電はその逆である．具体例としては，固定費用型発電として原子力，可変費用型発電として天然ガスによる発電を想起されたい．

以下，単純化のために次のような設定で分析を進めよう．第1ステージで，企業 i は固定費用型発電の容量 $k_i \in \mathbb{R}_+$ と可変費用型発電の容量 $\ell_i \in \mathbb{R}_+$ を決定する．固定費用型発電の容量設定には rk_i（$r > 0$）の費用がかかるが，可変費用型発電の容量設定の費用は0であると仮定する．これらのコストは以後のステージでは埋没費用となる．電力市場での逆需要は線形で，p を市場価格，Q を市場需要量とすると，$p = A - Q$ と書けるものとす

5）　イギリスでは電力の自由化に伴い，1996年に旧中央発電局から原子力発電部門を分割し，ニュークリア・エレクトリック社を設立している．

6）　ここでの不確実性は日負荷変動と文字通りの需要の不確実性が複合されたのもと解釈するのが自然である．

る．ここで，需要規模を表す A は確率変数で，正の閉区間 $[L, H]$ 上の一様分布に従っており，実現値は第2ステージで明らかになる．第3ステージでは，実現した A の値を観察後，企業 i が固定費用型発電による電力供給量 $x_i(A) \in [0, k_i]$ と可変費用型発電による電力供給量 $y_i(A) \in [0, \ell_i]$ を決定する．企業 i の合計電力供給量は $q_i(A) = x_i(A) + y_i(A)$ と書く．このステージに発生する固定費用型発電の供給時の生産費用は0だが，可変費用型発電の供給時の生産費用は $cy_i(A)$ $(c > 0)$ であると仮定する．ここで，注意したいのは，需要が明らかになるのは発電容量の設定後で電力供給量の決定前であるため，発電容量に関しては A に依存せず不確実な情報下で意思決定しなくてはならなかったが，企業の電力供給量に関する意思決定は A に依存して行えるという点である．また，供給量決定の最終ステージにおいては，電力生産費用は可変的だが，容量の設定費用は固定費用となっていることに注意されたい．

部分ゲーム完全均衡を導出する上で有用ないくつかの性質・仮定を挙げておこう．まず，可変費用型発電の容量設定コストが0であると仮定したため，均衡において，企業 i は供給量 $y_i(A)$ が容量 ℓ_i によって制約されないくらい十分に大きな容量 ℓ_i を選択する．従って，ℓ_i は均衡における他の結果に影響を与えない．また，分析の簡単化のため以下の仮定を置く．

$$\textbf{A.1.}\ Var(A) > \frac{(L+2c)^2}{48}. \qquad \textbf{A.2.}\ r < c. \qquad \textbf{A.3.}\ c < \frac{L}{2}$$

A.1は本論の焦点を需要変動が比較的高い場合に絞るための仮定である[7]．具体的には，この仮定は[8]，固定費用型・変動費用型の両方の発電技術を扱える企業が，以下の仮定を満たす全ての状況において，可変費用型発電による供給を一切しないというケースを排除するためのものである．A.2は，固定費用型発電に余剰容量がない限り，固定費用型発電のほうが可変費用型発電より費用面で効率的であることを表している．A.3は，複数の企業が存在する限り，全ての需要規模に対して，両企業が操業することを保証する．

7)　A.1は $2H-3L-2c > 0$ なる条件と同値である．例えば，$H \geq 2L$ が成り立つとき，A.3と併せればこの条件は満たされることが分かる．

8)　より正確には，この仮定は，すべての企業がある $r \in (0, c)$ について変動費用型発電供給の内点解を持つための，Ⅳ節の分析においては必要十分条件，Ⅲ節の分析においては十分条件となっている．Ⅴ節では，固定費用型発電技術を使う企業は変動費用型発電を行えないという仮定の下で分析されるため，A.1は均衡を導出する上で用いられない．

Ⅲ．独占

本節では，基準ケースとして，企業１が独占企業である場合を分析しよう[9]．企業１は固定費用型・変動費用型の両発電技術を扱えるものとする．

１．電力供給量決定ステージ

供給量を決定する第３ステージにおいて，k_1 と A が与えられた下での各均衡値は以下のようになる．A.3 によって，全ての $A \in [L, H]$ に対して q_1 が内点解となることに注意せよ．

$$(x_1^m(k_1;A), y_1^m(k_1;A)) = \begin{cases} (k_1, \frac{A-c}{2}-k_1) & \text{if } k_1 \in [0, \frac{A-c}{2}] \Leftrightarrow A \in [2k_1+c, \infty) \\ (k_1, 0) & \text{if } k_1 \in [\frac{A-c}{2}, \frac{A}{2}] \Leftrightarrow A \in [2k_1, 2k_1+c] \\ (\frac{A}{2}, 0) & \text{if } k_1 \in [\frac{A}{2}, \infty) \Leftrightarrow A \in (0, 2k_1] \end{cases} \tag{1}$$

$$q_1^m(k_1;A) = \begin{cases} \frac{A-c}{2} & \text{if } k_1 \in [0, \frac{A-c}{2}] \\ k_1 & \text{if } k_1 \in [\frac{A-c}{2}, \frac{A}{2}] \\ \frac{A}{2} & \text{if } k_1 \in [\frac{A}{2}, \infty) \end{cases} \quad p^m(k_1;A) = \begin{cases} \frac{A+c}{2} & \text{if } k_1 \in [0, \frac{A-c}{2}] \\ A-k_1 & \text{if } k_1 \in [\frac{A-c}{2}, \frac{A}{2}] \\ \frac{A}{2} & \text{if } k_1 \in [\frac{A}{2}, \infty) \end{cases} \tag{2}$$

(1)に見られるように，企業１の最適生産計画は３つのパターンを示す．もし固定費用型発電の容量に対して需要規模が大きい（$A > 2k_1 + c$）なら，その容量不足を補うために可変費用型電力が供給される．もし需要規模がそれほどに大きくない（$A \leq 2k_1 + c$）なら，全ての電力供給が固定費用型となる．その上，需要規模が十分に小さい場合（$A < 2k_1$）には，固定費用型発電は余剰容量を抱える（$k_1 > x_1^m(k_1; A)$）こととなる．

当該ステージに稼げる容量設定費用を控除する前の独占利潤は，

$$\pi_1^m(k_1; A) = \begin{cases} \frac{(A-c)^2}{4} + ck_1 & \text{if } k_1 \in [0, \frac{A-c}{2}] \Leftrightarrow A \in [2k_1+c, \infty) \\ k_1(A-k_1) & \text{if } k_1 \in [\frac{A-c}{2}, \frac{A}{2}] \Leftrightarrow A \in [2k_1, 2k_1+c] \\ \frac{A^2}{4} & \text{if } k_1 \in [\frac{A}{2}, \infty) \Leftrightarrow A \in (0, 2k_1] \end{cases}$$

となる．図１のように $\pi_1^m(k_1;A)$ は k_1 に関して滑らかにつながったグラフとして描ける．

9)　ここでは企業１が独占価格を付けられるケースを分析しているが，価格が規制されているケースでも定性的な結果は変わらない．

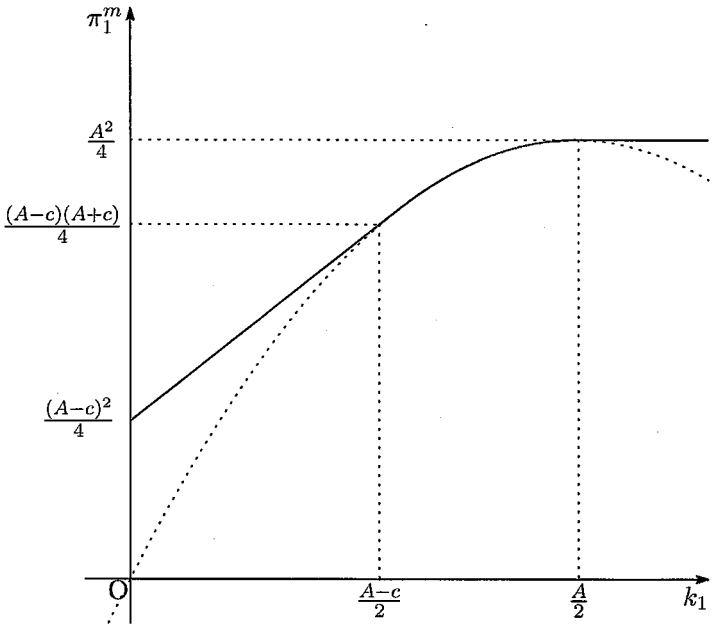

図1　$\pi_1^m(k_1;A)$のグラフ

2．発電容量設定ステージ

発電容量を設定する第1ステージでは，企業は不確実な需要の下で意思決定しなくてはならないため，期待利潤を最大化する問題

$$\max_{k_1} \frac{1}{H-L}\int_L^H \pi_1^m(k_1;a)\,da - rk_1. \tag{3}$$

を解く．k_1^m をこの問題の解，すなわち独占市場における固定費用型発電の均衡容量とおく．

企業1の当該ステージにおける限界期待収入は次のようになる．ここで，A.1より $\frac{L}{2}<\frac{H-c}{2}$ であることに注意せよ．

$$\frac{d}{dk_1}\frac{1}{H-L}\int_L^H \pi_1^m(k_1;a)\,da = \begin{cases} c & \text{if } k_1 \in [0, \frac{L-c}{2}] \\ \frac{1}{H-L}\left[\frac{2cH-L^2-c^2}{2} - 2(L-c)k_1 - 2k_1^2\right] & \text{if } k_1 \in [\frac{L-c}{2}, \frac{L}{2}] \\ \frac{1}{H-L}\left[\frac{2cH-c^2}{2} - 2ck_1\right] & \text{if } k_1 \in [\frac{L}{2}, \frac{H-c}{2}] \\ \frac{1}{H-L}\left[\frac{H^2}{2} - 2Hk_1 + 2k_1^2\right] & \text{if } k_1 \in [\frac{H-c}{2}, \frac{H}{2}] \\ 0 & \text{if } k_1 \in [\frac{H}{2}, \infty] \end{cases} \tag{4}$$

図6の曲線 $ABCD$ はこの限界期待収入を描いたものである．

図に見られるように，企業1の限界期待収入は，その値が $(0, c)$ の区間にある場合において厳密に減少である．従って，A.2より，1階条件

$$MR^m(k_1) \equiv \frac{d}{dk_1}\frac{1}{H-L}\int_L^H \pi_1^m(k_1;a)\,da = r$$

は問題(3)の必要十分条件である．これを解くことにより，以下の結果が得られる．

補題1　仮定A.1-A.3の下で，

$$k_1^m = \begin{cases} \frac{1}{2}\left(L-c+\sqrt{2(c-r)(H-L)}\right) & \text{if } r \in \left[c-\frac{c^2}{2(H-L)},\ c\right) \\ \frac{c(2H-c)-2r(H-L)}{4c} & \text{if } r \in \left[\frac{c^2}{2(H-L)},\ c-\frac{c^2}{2(H-L)}\right] \\ \frac{1}{2}\left(H-\sqrt{2r(H-L)}\right) & \text{if } r \in \left(0,\ \frac{c^2}{2(H-L)}\right]. \end{cases} \tag{5}$$

(5)の第1行目は発電容量が $k_1^m \in \left(\frac{L-c}{2}, \frac{L}{2}\right]$ の領域にある場合に対応しており，同様に，2行目は $k_1^m \in \left[\frac{L}{2}, \frac{H-c}{2}\right]$，3行目は $k_1^m \in \left[\frac{H-c}{2}, \frac{H}{2}\right)$ に対応している．この結果と(1)より，$r > \frac{c^2}{2(H-L)}$ は $y_1^m(H) > 0$ を保障する一方で，$y_1^m(L)$ は常に0であることが確認できる．つまり，固定費用型発電が費用面で極端に効率的でない限り，可変費用型電力は需要変動によって高い需要が実現した場合に供給され，一方で固定費用型電力が定常的な電力需要を満たしていることが見て取れる．

企業1は，固定費用型発電の容量を設定するとき，費用とリスクのトレード・オフに直面する．需要が変動しない場合，A.2より固定費用型発電は可変費用型発電に比して単位発電費用が安く，企業は固定費用型発電のほうを選好する．しかしながら，不確実な需要の下では，巨大な固定費用型発電設備を建設してしまうことは，需要が偶然にも小さかった場合にその一部が余剰容量となる恐れがあり，リスクが高い．つまり，この余剰容量に費やした費用は埋没費用となって，需要が判明した後では取り戻せない．企業はこれらの費用効果とリスク効果のトレード・オフを釣り合わせるように行動し，結果として，前者が後者を常に凌駕するほど r が低くない限り，可変費用型発電によって大きな変動需要に対応するのである．

$y_1^m(H) > 0$ を保障する閾値は

$$\frac{c^2}{2(H-L)} = \frac{c^2}{2\sqrt{3\,Var(A)}}$$

のように変形できることを確認してほしい．従って，もし $Var(A)$ が上昇するなら，可変費用型電力はより低い r に対して供給されることになる[10]．容量設定費用 r が高いほど

10)　(1)より $y_1^m(A)$ は A について非増加であるため，$y_1^m(H)=0$ ならば任意の $A \in [L, H]$ について $y_1^m(A)=0$ であることに注意せよ．

固定費用型発電の費用優位性を減少させるのと同様に，需要変動 $Var(A)$ が高いほど固定費用型発電設備の建設リスクが高まる．言い換えると，r と $Var(A)$ の増加は前段落で述べたトレード・オフに対して同じ方向に働き，いずれも企業に固定費用型発電の容量を減少させるインセンティヴを与えるのである．

3．数値例

ここでは，$H=3$, $L=1$, $c=0.4$ のときの数値例を与え，固定費用型発電の期待市場シェア（総電力供給量に対する当該電源による電力供給量の割合）$\mathrm{E}_A\left(\frac{x_1^m(k_1^m;A)}{q_1^m(k_1^m;A)}\right)$ と，固定費用型発電の期待操業率（当該電源の発電容量に対する電力供給量の割合）$\mathrm{E}_A\left(\frac{x_1^m(k_1^m;A)}{k_1^m}\right)$ が r についてどのように変化するかを考察する．表1を見よ[11]．この表の結果に対する直観は本質的に補題1に対する説明に従う．r が低くなるに従って固定費用型発電の期待市場シェアが増加するのは，固定費用型発電の費用優位性によって可変費用型電力供給が減少するためである．その代わりとして，企業は余剰容量のリスクにより容易に耐えられるようになり，固定費用型発電の期待操業率は減少する．

表1　固定費用型発電の均衡運営（独占の場合）

r	市場シェア	操業率
0.00	1.000	0.666
0.05	0.999	0.764
0.10	0.988	0.816
0.15	0.959	0.865
0.20	0.911	0.911
0.25	0.842	0.951
0.30	0.751	0.982
0.35	0.636	0.999
0.40	0.375	0.100

Ⅳ．競争の影響

本節では，企業2が企業1の競争者として市場に参入してきた場合を考える．企業1は固定費用型・変動費用型の両方の発電技術を扱えるが，企業2は変動費用型のみ扱え固定費用型の発電技術は扱えないものと仮定する．

1．電力供給量決定ステージ

もし企業 i が固定費用型の発電のみですべての供給を行うとすると，第3ステージに

11)　補題1と(1)より，固定費用型発電の期待市場シェアは $r>c^2/2(H-L)=0.04$ ならば1より小さい．また，固定費用型発電の期待操業率は $r<c-c^2/2(H-L)=0.36$ ならば1より小さい．

おける当該企業の反応曲線は

$$R_i^N(q_j;\ A) = max[\frac{A-q_j}{2},\ 0].$$

である．もし企業 i が可変費用型の発電のみですべての供給を行うとすると，第3ステージにおける当該企業の反応曲線は

$$R_i^G(q_j;\ A) = max[\frac{A-c-q_j}{2},\ 0].$$

である．従って，k_1 が所与の下での電力供給量決定ステージにおける企業1の反応曲線は，

$$R_1(q_2;A) = \begin{cases} R_1^G(q_2;\ A) & \text{if } q_2 \leq R_1^{G-1}(k_1;\ A) \\ k_1 & \text{if } R_1^{G-1}(k_1;A) \leq q_2 \leq R_1^{N-1}(k_1;\ A) \\ R_1^N(q_2;\ A) & \text{if } R_1^{N-1}(k_1;\ A) \leq q_2 \end{cases}$$

となる．図2に見られるように，企業1の反応曲線はその固定費用型発電容量 k_1 のところで折れ曲がる．一方，企業2の反応曲線は常に R_2^G である．

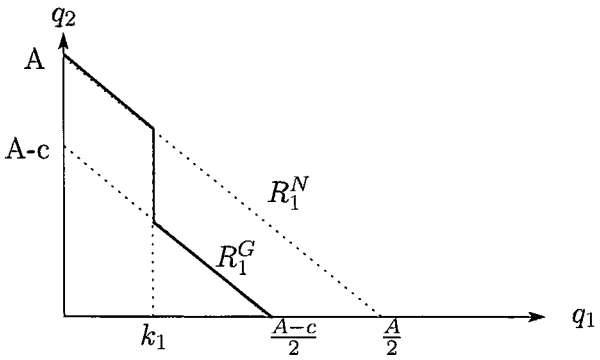

図2　k_1 が所与の下での企業1の反応関数

k_1 と A が所与の下での均衡発電量は，これらの反応曲線の交点として以下のように求められる．A.3により，q_1 と q_2 はすべての $A \in [L,\ H]$ について内点解であることに注意せよ．

$$\text{If } k_1 \in [0,\ \frac{A-c}{3}] \Leftrightarrow A \in [3k_1+c,\ \infty],$$

$$\begin{bmatrix} x_1^*(k_1;\ A) & y_1^*(k_1;\ A) \\ \bullet & y_2^*(k_1;\ A) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & \frac{A-c}{3}-k_1 \\ \bullet & \frac{A-c}{3} \end{bmatrix},\ \begin{bmatrix} q_1^*(k_1;\ A) \\ q_2^*(k_1;\ A) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A-c}{3} \\ \frac{A-c}{3} \end{bmatrix},\ p^*(k_1;\ A) = \frac{A+2c}{3}. \tag{6}$$

If $k_1 \in [\frac{A-c}{3}, \frac{A+c}{3}] \Leftrightarrow A \in [3k_1-c, 3k_1+c]$,

$$\begin{bmatrix} x_1^*(k_1; A) & y_1^*(k_1; A) \\ \cdot & y_2^*(k_1; A) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ \cdot & \frac{A-c-k_1}{2} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} q_1^*(k_1; A) \\ q_2^*(k_1; A) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 \\ \frac{A-c-k_1}{2} \end{bmatrix}, \ p^*(k_1; A) = \frac{A-c-k_1}{2}. \tag{7}$$

If $k_1 \in [\frac{A+c}{3}, \infty) \Leftrightarrow A \in (0, 3k_1-c]$,

$$\begin{bmatrix} x_1^*(k_1; A) & y_1^*(k_1; A) \\ \cdot & y_2^*(k_1; A) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A+c}{3} & 0 \\ \cdot & \frac{A-2c}{3} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} q_1^*(k_1; A) \\ q_2^*(k_1; A) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A+c}{3} \\ \frac{A-2c}{3} \end{bmatrix}, \ p^*(k_1; A) = \frac{A+c}{3}. \tag{8}$$

独占のケースと同様に，企業1の最適発電計画は3つのパターンを示す：$A > 3k_1+c$（高需要ケース）のとき，可変費用型電力が供給され；$A < 3k_1-c$（低需要ケース）のとき，固定費用発電は過剰容量を抱え；その他（中需要ケース）の場合，すべての電力供給が固定費用型発電によるが，その余剰発電容量は発生しない．

これらより，当該ステージに稼げる企業1の容量設定費用控除前の利潤が求められ，所与の k_1 と A に対して，

$$\pi_1^*(k_1; A) = \begin{cases} \frac{(A-c)^2}{9} + k_1 c & \text{if } k_1 \in [0, \frac{A-c}{3}] \Leftrightarrow A \in [3k_1+c, \infty] \\ \frac{k_1(A+c-k_1)}{2} & \text{if } k_1 \in [\frac{A-c}{3}, \frac{A+c}{3}] \Leftrightarrow A \in [3k_1-c, 3k_1+c] \\ \frac{(A+c)^2}{9} & \text{if } k_1 \in [\frac{A+c}{3}, \infty) \Leftrightarrow A \in (0, 3k_1-c] \end{cases}$$

となる．π_1^* の形状は図3に描かれている．π_1^* は微分可能ではないが，k_1 について連続であることが確認できる．

2．発電容量設定ステージ

企業1の第1ステージにおける利潤最大化問題は，

$$\max_{k_1} \frac{1}{H-L} \int_L^H \pi_1^*(k_1; a)\, da - rk_1 \tag{9}$$

のように与えられる．k_1^* をこの問題の解，すなわち新規競争者が出現した複占市場における固定費用型発電の均衡容量とおく．

当該ステージにおける企業1の限界期待収入は次のようになる．ここで，A.1より，$\frac{H-c}{3} > \frac{L+c}{3}$ である．

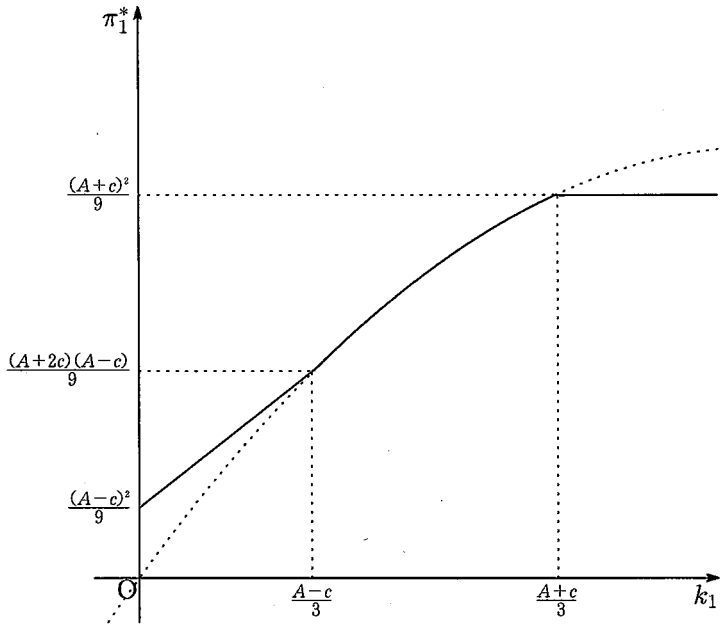

図3　$\pi_1^*(k_1;A)$ のグラフ

$$\frac{\partial}{\partial k_1}\frac{1}{H-L}\int_L^H \pi_1^*(k_1;a)\,da=\begin{cases} c & \text{if } k_1\in[0,\frac{L-c}{3}] \\ \frac{1}{H-L}\left[\frac{4cH-(L+c)^2}{4}+(L-c)k_1-\frac{3}{4}k_1^2\right] & \text{if } k_1\in[\frac{L-c}{3},\frac{L+c}{3}] \\ \frac{1}{H-L}\left[cH-2ck_1\right] & \text{if } k_1\in[\frac{L+c}{3},\frac{H-c}{3}] \\ \frac{1}{H-L}\left[\frac{(H+c)^2}{4}-(H+c)k_1+\frac{3}{4}k_1^2\right] & \text{if } k_1\in[\frac{H-c}{3},\frac{H+c}{3}] \\ 0 & \text{if } k_1\in[\frac{H+c}{3},\infty) \end{cases} \tag{10}$$

図6における曲線 $ABEFCG$ は，この限界期待収入の形状を描いている．

図6に見られるように，限界期待収入は一旦 c よりも大きな値をとるが，それが区間 $(0, c)$ 上に値をとるときには，k_1 について厳密に減少である．ゆえに，A.2より，最大化の1階条件

$$MR^*(k_1)\equiv\frac{d}{dk_1}\frac{1}{H-L}\int_L^H \pi_1^*(k_1;a)\,da=r \tag{11}$$

は問題(9)の必要十分条件である．これを解くことにより以下の結果が得られる．

補題2　仮定A.1-A.3の下で，

$$k_1^* = \begin{cases} \dfrac{cH-r(H-L)}{2c} & \text{if } r \in \left[c-\dfrac{c(2H-3L-2C)}{3(H-L)},\ c\right) \\ \dfrac{1}{3}\left(2H+2c-\sqrt{(c+H)^2+12r(H-L)}\right) & \text{if } r \in \left(0,\ c-\dfrac{c(2H-3L-2C)}{3(H-L)}\right] \end{cases} \tag{12}$$

証明　補論をみよ．　**証明終**

(12)の一行目のケースは $k_1^* \in [\frac{L+c}{3}, \frac{H-c}{3}]$ に対応しており，二行目のケースは $k_1^* \in [\frac{H-c}{3}, \frac{H+c}{3}]$ に対応している．従って，(6)により，$y_1^*(H) > 0$ となるのは $r > c-\frac{c(2H-3L-2c)}{3(H-L)}$ の場合である．つまり，可変費用型電力が変動需要に対して供給されるのは，固定費用型発電がさほど効率的ではないときである．ここでも，可変費用型発電が行われるための閾値は

$$c-\frac{c(2H-3L-2c)}{3(H-L)} = \frac{c(E(A)+2c)}{3\sqrt{3Var(A)}}+\frac{c}{3}$$

と変形できる．ゆえに，需要変動 $Var(A)$ が平均を保存しつつ拡散すると，可変費用型電力はより低い r のときにも供給されるようになる[12]．これは，独占のケースと同様に，固定費用型発電容量の建設には費用とリスクのトレード・オフが発生するためである．

3．比較

市場均衡における固定費用型発電の容量は，固定費用型発電を使えない競争者の出現により，減少するであろうか．

命題1　仮定 A.1-A.3 の下で，$\hat{r} \in (0, c)$ が存在し，

$$k_1^* \lesseqgtr k_1^m \Leftrightarrow r \lesseqgtr \hat{r}.$$

証明　補論をみよ．　**証明終**

固定費用型発電の容量は，リスク（需要変動）に比べて費用面の優位性が十分に大きなときに，またそのときに限って，減少することをこの命題は述べている[13]．この結果の裏

12)　(1)より $y_1^*(A)$ は A について非減少であるため，$y_1^*(H)=0$ ならばすべての $A \in [L, H]$ について $y_1^*(A)=0$ であることが確認できる．

13)　もし A.1 が仮定されていない，すなわち $Var(A) \leq (L+2c)^2/48$ も許容するのであれば，すべての $r \in (0, c)$ に対して $k_1^* < k_1^m$ となることもありえる．しかしながら，このようなケースにおいてさえ，もし $r>c$ を考えれば，r が $k_1^*=k_1^m=0$ となるほど極端に高くない限りは，$r>c$ ならば $k_1^* > k_1^m$ であることが示せる．

にある原理は以下のようなものである．固定費用型と可変費用型発電の費用構造より，固定費用型の発電容量を建設することは，（これは費用とリスクのトレード・オフを生み出しているが）競争者の出現による戦略的動機を新たに既存企業に付加する．固定費用型発電は供給量決定ステージにおいて発電費用が相対的に低いため，固定費用型発電の容量が大きいほど大量の電力供給にコミットすることになり，競争者の電力供給を締め出し抑制することができる．従って，固定費用型発電の容量建設インセンティヴは促進される．この戦略的効果は Dixit（1980）が分析した費用削減型投資における生産阻止の議論と同じものである：投資費用と投資によって削減された生産費用は，本論の文脈においては，固定費用型発電の相対的に高い容量設定費用と低い発電費用に，それぞれ理論的に対応している．一方で，競争者が出現することにより，企業1の生産の一部は新規企業に代替する．企業2は安定的な需要に対してでさえ，可変費用型発電をもって市場に電力を供給するため，この効果は固定費用型発電の容量を減少させる方向に働く．r が低い場合，企業1の電力供給の多くは，独占の下でも既に固定費用型発電によって生産されている．従ってこの場合，前者の生産阻止効果（後者の生産代替効果）は，可変費用型（固定費用型）発電が固定費用（可変費用）型発電に移ってこそ効果的であるため，小さく（大きく）なるのである．これが，固定費用型発電が効率的になるほど，競争の導入によってその発電容量が減少しやすくなることの理由である．

もしも政策当局が，自然エネルギーなどの可変費用型発電を行う事業者の参入促進を，原子力などの固定費用型電力への電力依存を緩和する目的で行うとしたら，命題1の結果は悲観的である．この目的に従って首尾よく減少するのは効率的な発電技術だからである[14]．実際，次に挙げる命題1の系はこの悲観論をよりいっそう支持するものである．

系1　仮定 A.1-A.3 の下で，$k_1^* < k_1^m$ ならばすべての $A \in [L, H]$ に対して $y_1^*(A) = 0$.

証明　補題2の直後の解説より，(12)の2行目の場合にあるときに，すべての $A \in [L, H]$ について $y_1^*(A) = 0$ である．命題1の証明から明らかなように，MR^m と MR^* は $k_1 \in [\frac{L+c}{3}, \frac{H-c}{3}]$（(12)の1行目の場合）においては決して交わらない．従って，$\hat{r} < MR^*(\frac{H-c}{3})$ である．　**証明終**

これは，（r が極端に高くないとすると）$r > c$ のとき，複占の下では，固定費用型発電容量が企業2の生産を抑制するために建設されるが（$MR^* > c$ となる範囲があることより），一方で独占の下では，固定費用型発電容量は全く建設されない（過剰容量のリスクは依然存在するが費用優位がないことより）ためである．

14)　Lahiri & Ono（1988）は非効率な企業を助けることは社会厚生を低下させ得ることを示している．

つまり，本稿の設定の下では，固定費用型発電が，企業1が複占の下でその発電方法に特化するくらいに効率的なときに限って，その発電容量は減少するのである．

4．固定費用型発電の市場シェア

競争がどのように固定費用型発電の期待市場シェアに影響するかを見てみよう．

命題2　仮定 A.1-A.3 の下で，

$$E_A\left(\frac{x_1^*(k_1^*;A)}{q_1^*(k_1^*;A)+q_2^*(k_1^*;A)}\right) < E_A\left(\frac{x_1^m(k_1^m;A)}{q_1^m(k_1^m;A)}\right) \qquad \text{if } k_1^* < k_1^m.$$

証明　補論をみよ．　**証明終**

この結果は本質的には前節の議論に従っている．固定費用型の発電容量が減少するときでも，通常の寡占モデルと同様に，競争の導入によって期待総生産量は増加することが証明できる．ゆえに，もし競争下での固定費用型の発電容量が独占下より絶対的に小さいならば，市場シェアにおいてはなおさらである．つまり，固定費用型発電が十分に効率的なときは，市場シェアで見ても競争によって固定費用型発電量は減少するのである．

Ⅲ節 3. で見たように，ここでの複占モデルにおいても，$H=3$，$L=1$，$c=0.4$ のときの数値例を与えておこう．結果は表2にまとめてある．図7はこの数値例における固定費用型発電の期待市場シェアを描いており，「new entrant」と名付けられている曲線がここでの複占におけるグラフであり，「monopoly」と名付けられている曲線が Ⅲ節 3. の独占におけるグラフである．r が十分に低いと，競争下での固定費用型発電のシェアが独占下より小さくなっていることを確認してほしい．

表2　固定費用型発電の均衡運営（新規参入ケース）

r	市場シェア	操業率
0.00	0.666	0.705
0.05	0.665	0.741
0.10	0.661	0.774
0.15	0.655	0.804
0.20	0.647	0.833
0.25	0.637	0.859
0.30	0.599	0.919
0.35	0.538	0.969
0.40	0.453	0.998

Ⅴ．特化の効果

本節では，固定費用型発電を用いる企業が当該発電技術による電力供給に特化する場合

を分析する．企業1は固定費用型発電のみにより電力生産を行い，企業は可変費用型発電のみにより電力生産を行うと仮定する．

1．電力供給量決定ステージ

第3ステージにおける k_1 が所与の下での企業1の反応関数は

$$R_1(q_2;A)=\begin{cases} k_1 & \text{if } q_2 \leq R_1^{N-1}(k_1;A) \\ R_1^N(q_2;A) & \text{if } R_1^{N-1}(k_1;A) \leq q_2 \end{cases}$$

である．図2に見られるように，企業1の反応曲線はその発電容量 k_1 のところで折れ曲がる．企業2の反応関数は常に R_2^G である．

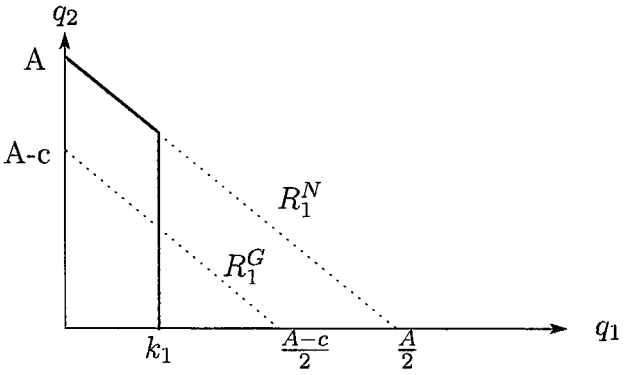

図4　k_1 が所与の下での企業1の反応関数

k_1 と A が所与の下での均衡供給量と均衡価格は以下のようになる．A.3により，すべての $A \in [L, H]$ に対して，q_1 と q_2 は内点解となることに注意してほしい．

$$q_1^{**}(k_1;A)=x_1^{**}(k_1;A)=\begin{cases} k_1 & \text{if } k_1 \in [0, \frac{A+c}{3}] \Leftrightarrow A \in [3k_1-c, \infty) \\ \frac{A+c}{3} & \text{if } k_1 \in [\frac{A+c}{3}, \infty) \Leftrightarrow A \in (0, 3k_1-c] \end{cases}$$

$$q_2^{**}(k_1;A)=y_2^{**}(k_1;A)=\begin{cases} \frac{A-c-k_1}{2} & \text{if } k_1 \in [0, \frac{A+c}{3}] \Leftrightarrow A \in [3k_1-c, \infty) \\ \frac{A-2c}{3} & \text{if } k_1 \in [\frac{A+c}{3}, \infty) \Leftrightarrow A \in (0, 3k_1-c] \end{cases}$$

$$p^{**}(k_1;A)=\begin{cases} \frac{A+c-k_1}{2} & \text{if } k_1 \in [0, \frac{A+c}{3}] \Leftrightarrow A \in [3k_1-c, \infty) \\ \frac{A+c}{3} & \text{if } k_1 \in [\frac{A+c}{3}, \infty) \Leftrightarrow A \in (0, 3k_1-c] \end{cases}$$

これらの結果より，企業1が当該ステージに稼げる容量設定費用控除前の利潤

$$\pi_1^{**}(k_1;A)=\begin{cases}\dfrac{k_1(A+c-k_1)}{2} & \text{if } k_1\in[0,\ \frac{A+c}{3}]\Leftrightarrow A\in[3k_1-c,\infty)\\ \dfrac{(A+c)^2}{9} & \text{if } k_1\in[\frac{A+c}{3},\ \infty)\Leftrightarrow A\in(0,\ 3k_1-c]\end{cases}$$

が所与の k_1，A に対して得られる．図5に π_1^{**} の形状が描かれている．π_1^{**} は微分可能ではないが k_1 について連続であることが確認できる．

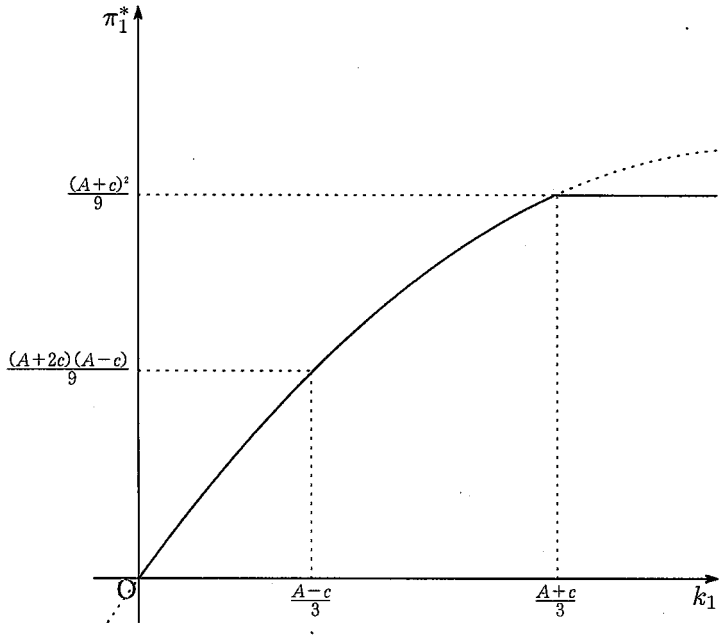

図5　$\pi_1^{**}(k_1;A)$ のグラフ

2．発電容量設定ステージ

企業1の第1ステージにおける利潤最大化問題は，

$$\max_{k_1}\frac{1}{H-L}\int_L^H \pi_1^{**}(k_1;a)\,da-rk_1 \tag{13}$$

のように与えられる．k_1^{**} をこの問題の解，すなわち固定費用型発電部門が分離され別会社となった場合の，複占市場における固定費用型発電の均衡容量とおく．

当該ステージにおける企業1の限界期待収入は次のようになる．

$$\frac{\partial}{\partial k_1}\frac{1}{H-L}\int_L^H \pi_1^{**}(k_1;a)\,da$$

$$= \begin{cases} \frac{H+L+2c}{4} - k_1 & \text{if } k_1 \in [0, \frac{L+c}{3}] \\ \frac{1}{H-L}\left[\frac{(H+c)^2}{4} - (H+c)k_1 + \frac{3}{4}k_1^2\right] & \text{if } k_1 \in [\frac{L+c}{3}, \frac{H+c}{3}] \\ 0 & \text{if } k_1 \in [\frac{H+c}{3}, \infty] \end{cases} \tag{14}$$

図6における曲線 $IFCG$ は，この場合の限界期待収入の形状を描いている．

図6に見られるように，この限界期待収入は k_1 について厳密に減少である．従って，A.2より，1階条件

$$MR^{**}(k_1) \equiv \frac{d}{dk_1}\frac{1}{H-L}\int_L^H \pi_1^{**}(k_1;a)\,da = r, \tag{15}$$

は問題(13)の必要十分条件である．これを解くことにより次の結果が得られる．この補題を導くには仮定A.1は必要ないことに注意せよ．

補題3　仮定A.2-A.3の下で，

$$k_1^{**} = \frac{1}{3}\left(2H + 2c - \sqrt{(c+H)^2 + 12r(H-L)}\right).$$

企業1は可変費用型の発電をしないので，補題2における $y_1^*(k^*;H) > 0$ の場合に対応する解はここでの結論からは消えるのである．

3．比較

競争が固定費用型発電部門を独立事業として分割することで導入された場合にも，前節と同じ原理は働くであろうか．まずは，企業1の特化によって，特化がない場合に比べて，固定費用型の均衡発電容量がどのように変化するかを確認しよう．

命題3　仮定A.1-A.3の下で，$\bar{r} \in (\hat{r}, c)$ が存在し，$r > \bar{r}$ ならば $k_1^{**} > k_1^*$，$r \leq \bar{r}$ ならば $k_1^{**} = k_1^*$．

証明　補論をみよ．　**証明終**

企業1が可変費用型発電を行えないとき，固定費用型発電のみによって需要変動に対応しなければならない．このため，企業1は過剰容量のリスクを犯しても，高い需要に備えて固定費用型発電容量を建設しておくことになる．従って，命題3の $r > \bar{r}$ のケースに見られるように，固定費用型の発電容量は，企業1が両方の発電技術を使える場合に比べて

増加することになる．しかしながら，このメカニズムは固定費用型発電が効率的な $r \leq \bar{r}$ の場合には働かない．固定費用型発電の費用面の優位性がリスク（需要変動）に対して大きければ，企業1はたとえ両方の発電技術が利用可能だとしても可変費用型発電を行わなくなる．つまり特化がなくてももともと固定費用型発電によってのみ需要変動に対応する状況にあり，上記の容量の増加効果はなくなってしまうのである．特に，$\bar{r} > \hat{r}$ が証明できるので，$k_1^* < k_1^m$ となるほどに固定費用型発電が費用面で効率的な場合には，常に $k_1^* = k_1^{**}$ が成立している．ゆえに，命題1は k_1^* を k_1^{**} で置き換えたとしても成立する．換言すると，固定費用型発電が効率的なほどその発電容量が競争によって減少するという結論に関しては，命題1で解説したのと同じ原理が適用できるのである．

固定費用型発電の市場シェアに関しても，命題2と同様の関係が見られる．

命題4　仮定 A.1-A.3. の下で，

$$E_A\left(\frac{x_1^{**}(k_1^{**};A)}{q_1^{**}(k_1^{**};A)+q_2^{**}(k_1^{**};A)}\right) < E_A\left(\frac{x_1^m(k_1^m;A)}{q_1^m(k_1^m;A)}\right) \qquad \text{if } k_1^{**} < k_1^m.$$

証明　命題3で見たように，$k_1^* < k_1^m$ の場合には常に $k_1^* = k_1^{**}$ である．従って，上付き記号「*」を上付き記号「**」に置き換えれば，命題2と同様の証明が適用可能である．

証明終

Ⅲ節3. と同様に，$H = 3$，$L = 1$，$c = 0.4$ の場合の数値例を表3に与えておこう．図7では，「specialization」と名付けられた曲線によって本節で分析した状況下での固定費用型発電の期待市場シェアを描いている．期待市場シェアは，r が比較的高いときは前節に比べて高くなっているが，r が比較的低いときは前節と変わらなくなることが確認できる．

表3　固定費用型発電の均衡運営（特化ケース）

r	市場シェア	操業率
0.00	0.666	0.705
0.05	0.665	0.741
0.10	0.661	0.774
0.15	0.655	0.804
0.20	0.647	0.833
0.25	0.637	0.859
0.30	0.625	0.884
0.35	0.611	0.906
0.40	0.596	0.927

Ⅵ．結論

本稿では，電力市場における競争の増進が電源構成にどのように影響するかを分析して

きた．その際，需要変動と2つのタイプの発電技術，すなわち固定費用型発電と可変費用型発電，を考えた．固定費用型発電は可変費用型発電に比べ相対的に高い容量設定費用がかかり，可変費用型発電は固定費用型発電に比べ相対的に高い生産費用がかかる．独占市場に競争を導入することは，固定費用型発電が費用面で十分に効率的なとき，またそのときに限って，元の独占企業が設定する固定費用型の発電容量を減少させることが示された．

この結果は，原発がもともと競争力が非常に強く，自由化以前の段階で非常に大きなシェアを持っていたとすれば，自由化は原子力発電の逆風になりえることを示している．しかしこの場合には，もともと自由化前に原発は十分大きな容量が入っているはずであり，そもそも問題の小さなケースである．このような状況ではないからこそ，国をあげて原発の推進が議論されている．それでもなお，自由化が原発の逆風になると主張されるとすれば，自由化反対のための口実としてうまく利用されているという懸念を持たざるを得ない．

参考文献

Dixit, A. (1979). "A Model of Duopoly Suggesting a Theory of Entry Barriers." *The Bell Journal of Economics*, 10, 20-32.

Dixit, A. (1980). "The Role of Investment in Entry-Deterrence." *The Economic Journal*, 90, 95-106.

Hartman, R. (1976). "Factor Demand with Output Price Uncertainty" *The American Economic Review*, 66(4), 675-681.

Ishii, Y. (1979). "On the theory of monopoly under demand uncertainty" *Journal of Economics*, 39(1), 105-108.

Lahiri, S. and Ono, Y. (1988). "Helping Minor Firms Reduces Welfare." *Economic Journal*, 98, 1199-1202.

小川昭・松村敏弘 (2005),「規制改革の成果とその課題」東京大学社会科学研究所編『「失われた10年」を超えて1：経済危機の教訓』105-144.（東京大学出版会）

橘川武郎 (2004).『日本電力業発展のダイナミズム』（名古屋大学出版会）

補論

補題2の証明．最初に，$k_1 \leq \frac{L+c}{3}$ のとき $MR^*(k_1) \geq c$ であり，$k_1 \geq \frac{H+c}{3}$ のとき $MR^*(k_1) = 0$ であることに留意せよ．前者は，$k_1 \in [\frac{L-c}{3}, \frac{L+c}{3}]$ のとき $MR^*(k_1)$ は k_1 について二次であることと

$$MR^*\left(\frac{L-c}{3}\right) = c,\ MR^*\left(\frac{L+c}{3}\right) = c + \frac{c(L-2c)}{3(H-L)} > c$$

より得られる．従って，A.2 と(11)より，$k_1^* \in (\frac{L+c}{3}, \frac{H+c}{3})$ でなくてはならない．

次に，$k_1 \in [\frac{L+c}{3}, \frac{H+c}{3}]$ のとき MR^* は厳密に減少であることを確認する．$[\frac{L+c}{3}, \frac{H-c}{3}]$

において減少であることは(10)より明らかである．$[\frac{H-c}{3}, \frac{H+c}{3}]$ において減少であることは，$k_1 \in [\frac{H-c}{3}, \frac{H+c}{3}]$ のとき $MR^*(k_1)$ は k_1 について二次であることと $MR^*(\frac{H-c}{3}) > 0$, $MR^*(\frac{H+c}{3}) = 0$ より得られる．ここで，$MR^*(\frac{H-c}{3}) > 0$ は次の式の第二項より確認できる．

$$MR^*\left(\frac{H-c}{3}\right) = \frac{c(H+2c)}{3(H-L)} = c - \frac{c(2H-3L-2c)}{3(H-L)} \tag{16}$$

従って，$(\frac{L+c}{3}, \frac{H+c}{3})$ において二階条件は大域的に満たされている．

式(16)の第三項を見ると，A.1（この仮定は $Var(A) = \frac{(H-L)^2}{12}$ より $2H-3L-2c > 0$ と同値である）より $MR^*(\frac{H-c}{3}) < c$ が分かる．ゆえに，$r \in [MR^*(\frac{H-c}{3}), c)$ のとき $k_1^* \in (\frac{L+c}{3}, \frac{H-c}{3}]$ となり $r \in (0, MR^*(\frac{H-c}{3})]$ のとき $k_1^* \in [\frac{H-c}{3}, \frac{H+c}{3})$ となる．これは，MR^* が $[\frac{L+c}{3}, \frac{H+c}{3}]$ において厳密に減少であることによる．従って，1階条件(11)を解くことにより当該の結果を得る．　**証明終**

命題1の証明．補題1と補題2は

$$\lim_{r \downarrow 0} k_1^* = \frac{H+c}{3} < \lim_{r \downarrow 0} k_1^m = \frac{H}{2}$$

を示唆する．ここで，不等式はA.3により成立している．言い換えると，r が十分に0に近いときには $k_1^* < k_1^m$ となる．さらに，A.1すなわち $Var(A) > \frac{(L+2c)^2}{48}$ が満たされるとき，補題1と補題2は

$$\lim_{r \uparrow c} k_1^* = \frac{L}{2} > \lim_{r \uparrow c} k_1^m = \frac{L-c}{2}$$

を示唆する．言い換えると，r が十分に c に近いときは $k_1^* > k_1^m$ となる．これらと MR^* と MR^m は連続であることより両者は交点を持つ．

従って，MR^m と MR^* が $(0, c)$ の間に値をとるときにちょうど1回だけ交わることが示せれば，証明は完了する（図6も参照せよ）．絶対値で見て，(4)より MR^m の傾きはすべての k_1 について $\frac{2c}{H-L}$ 以下であり，(10)より MR^* の傾きは $k_1 > \frac{L+c}{3}$ において $\frac{2c}{H-L}$ 以上である．ここで前者の事実は，$k_1 \in (\frac{L}{2}, \frac{H-c}{2})$ のとき MR^m の傾きは $-\frac{2c}{H-L}$ であることと，$k_1 \in (\frac{L-c}{2}, \frac{L}{2})$ のときに以下の(17)，$k_1 \in (\frac{H-c}{2}, \frac{H}{2})$ のときに以下の(18)という関係が得られるためである．

$$\frac{\partial MR^m}{\partial k_1}(k_1) = -\frac{2(L-c)+4k_1}{H-L} > \frac{\partial MR^m}{\partial k_1}\left(\frac{L}{2}\right) = -\frac{2c}{H-L} \tag{17}$$

$$\frac{\partial MR^m}{\partial k_1}(k_1)=-\frac{2H-4k_1}{H-L}>\frac{\partial MR^m}{\partial k_1}\left(\frac{H-c}{2}\right)=-\frac{2c}{H-L} \tag{18}$$

ここで，(17)と(18)の不等号は MR^m が各領域において二次で減少であることより得られる．また後者の事実は，$k_1\in(\frac{L+c}{3},\frac{H-c}{3})$ のとき MR^* の傾きは $-\frac{2c}{H-L}$ であることと，$k_1\in(\frac{H-c}{3},\frac{H+c}{3})$ のときに

$$\frac{\partial MR^*}{\partial k_1}(k_1)=-\frac{2(H+c)-3k_1}{2(H-L)}<\frac{\partial MR^m}{\partial k_1}\left(\frac{H+c}{3}\right)=-\frac{H+c}{2(H-L)}<-\frac{2c}{H-L} \tag{19}$$

という関係が得られることによる．ここで，最初の不等号は MR^* が $k_1\in(\frac{H-c}{3},\frac{H+c}{3})$ において二次で減少であるためであり，最後の不等号では A.1 を使っている．さらに，もしある k_1 について MR^* と MR^m の傾きが両方とも $-\frac{2c}{H-L}$ であれば，(10)と(4)により，

$$MR^*(k_1)=cH-2ck_1>MR^m(k_1)=\frac{2cH-c^2}{2}-2ck_1$$

となる．以上より，MR^* と MR^m は決して複数回交わることはない．　**証明終**

命題 2 の証明．最初に，$k_1^*<k_1^m$ の場合に $\mathrm{E}_A(q_1^*(k_1^*;A)+q_2^*(k_1^*;A))>\mathrm{E}_A(q_1^m(k_1^m;A))$ となることを証明する．系 1 より，$k_1^*<k_1^m$ の場合には $y^*(H)=0$ であり，従って補題 2 の直後の解説より $\frac{H-c}{3}<k_1^*<\frac{H+c}{3}$ でなくてはならない．$\frac{L+c}{3}<k_1^*$（補題 2 の証明の第 1 段落を見よ）と合わせると，$L<3k_1^*-c<H<3k_1^*+c$ という関係が分かる．従って，(6)(7)(8)より，新規企業が参入した複占下における期待総生産量が計算でき，

$$\begin{aligned}\mathrm{E}_A(q_1^*(k_1^*;A)+q_2^*(k_1^*;A))&=\int_L^{3k_1^*-c}\frac{2a-c}{3}\,da+\int_{3k_1^*-c}^{H}\frac{a-c+k_1^*}{2}\,da\\&=-\frac{3}{4}(k_1^*)^2+\frac{H+c}{2}k_1^*+\frac{3H^2-4L^2-c^2-6cH+4cL}{12}\end{aligned}$$

となる．これは $\frac{H-c}{3}<k_1^*<\frac{H+c}{3}$ のとき k_1^* について増加なので，

$$\mathrm{E}_A(q_1^*(k_1^*;A)+q_2^*(k_1^*;A))>\mathrm{E}_A\left(q_1^*\left(\frac{H-c}{3};A\right)+q_2^*\left(\frac{H-c}{3};A\right)\right)=\frac{H^2-cH-L^2+cL-c^2}{3} \tag{20}$$

という関係が得られる．一方で，(2)よりすべての $A\in[L,H]$ において $q_1^m(k_1;A)$ が k_1 について非減少なので，独占下における期待総生産量 $\mathrm{E}_A(q_1^m(k_1;A))$ も k_1 について非減少である．よって，補題 1 より $k_1^m<\frac{H}{2}$ であることを用いつつ，

$$\mathrm{E}_A(q_1^m(k_1;A))\le\mathrm{E}_A\left(q_1^m\left(\frac{H}{2};A\right)\right)=\int_L^H\frac{a}{2}\,da=\frac{H^2-L^2}{4} \tag{21}$$

が得られる．(20)と(21)より，

$$0 < \frac{H^2-cH-L^2+cL-c^2}{3} - \frac{H^2-L^2}{4} = \frac{H^2-4cH-L^2+4cL-4c^2}{12}$$

ならば，$E_A(q_1^*(k_1^*;A)+q_2^*(k_1^*;A)) > E_A(q_1^m(k_1^m;A))$ となる．右辺の分子を H について微分すると A.1 と A.3 より $2(H-2c)>0$ が得られるため，これは H について増加である．従って，A.1 より $H>L+2c$ であることを用いると，$H^2-4cH-L^2+4cL-4c^2>(L+2c)^2-4c(L+2c)-L^2+4cL-4c^2=4c(L-2c)$ が得られ，ついには A.3 より $4c(L-2c)>0$ であることが分かる．

次に，$k_1^*<k_1^m$ の場合に $E_A(x_1^*(k_1^*;A))<E_A(x_1^m(k_1^m;A))$ であることを示す．このためには，すべての $A\in[L,H]$ にたいして $x_1^*(k_1^*;A)<x_1^m(k_1^m;A)$ が示せれば十分である．$k_1^*<k_1^m$ の場合には，上記のように $\frac{H-c}{3}<k_1^*$ でなくてはならない．よって，A.1 より $\frac{L+c}{3}<\frac{H-c}{3}<k_1^*$ であり，これは(8)より $x_1^*(k_1^*;L)=\frac{L+c}{3}<k_1^*$ を示唆する．一方で(1)により $x_1^m(k_1^m;L)=min[\frac{L}{2},k_1^m]$ である．ゆえに，A.3 より $\frac{L+c}{3}<\frac{L}{2}$ でありまた $k_1^*<k_1^m$ であることと合わせると，$x_1^*(k_1^*;L)<x_1^m(k_1^m;L)$ が分かる．さらに，$x_1^*(k_1^*;A)<k_1^*$ のとき $\partial x_1^*(k_1^*;A)/\partial A=\frac{1}{3}$ であり，$x_1^m(k_1^m;A)<k_1^m$ のとき $x_1^m(k_1^m;A)/\partial A=\frac{1}{2}$ である．従って，すべての $A\in[L,H]$ について $x_1^*(k_1^*;A)<x_1^m(k_1^m;A)$ となる．　**証明終**

命題 3 の証明． $\bar{r}$ を次によりにおく．

$$\bar{r}=\frac{c(H+2c)}{3(H-L)}=c-\frac{c(2H-3L-2c)}{3(H-L)}.$$

すると，A.1 より $2H-3L-2c>0$ だから $\bar{r}\in(\hat{r},c)$ となり，系 1 の証明で見たように，$\hat{r}<MR^*(\frac{H-c}{3})=\bar{r}$ となる．

補題 2 と補題 3 より，$r\in(0,\bar{r}]$ について $k_1^{**}=k_1^*$ である．$r\in(\bar{r},c)$ の場合については，k_1^{**} と k_1^* は $(\frac{L+c}{3},\frac{H-c}{3})$ の間に入っていなければならない．なぜなら，$MR^{**}(\frac{H-c}{3})=MR^*(\frac{H-c}{3})=\bar{r}$ かつ

$$MR^{**}\left(\frac{L+c}{3}\right)=c+\frac{2H+(H-L)-10c}{3}>c$$

であるためである．最後の不等号では A.1 と A.3 より $2H>8c$，A.1 より $H-L>2c$ を使用していることに注意せよ．$k_1\in(\frac{L+c}{3},\frac{H-c}{3})$ のとき，MR^* の傾きは $-\frac{2c}{H-L}$ であり，MR^{**} の傾きは(19)と同様に $-\frac{2c}{H-L}$ より小さいので，$(\frac{L+c}{3},\frac{H-c}{3})$ 上で $MR^{**}(k_1)<MR^*(k_1)$ である．従って，$r>\bar{r}$ ならば $k_1^{**}>k_1^*$ が言える．　**証明終**

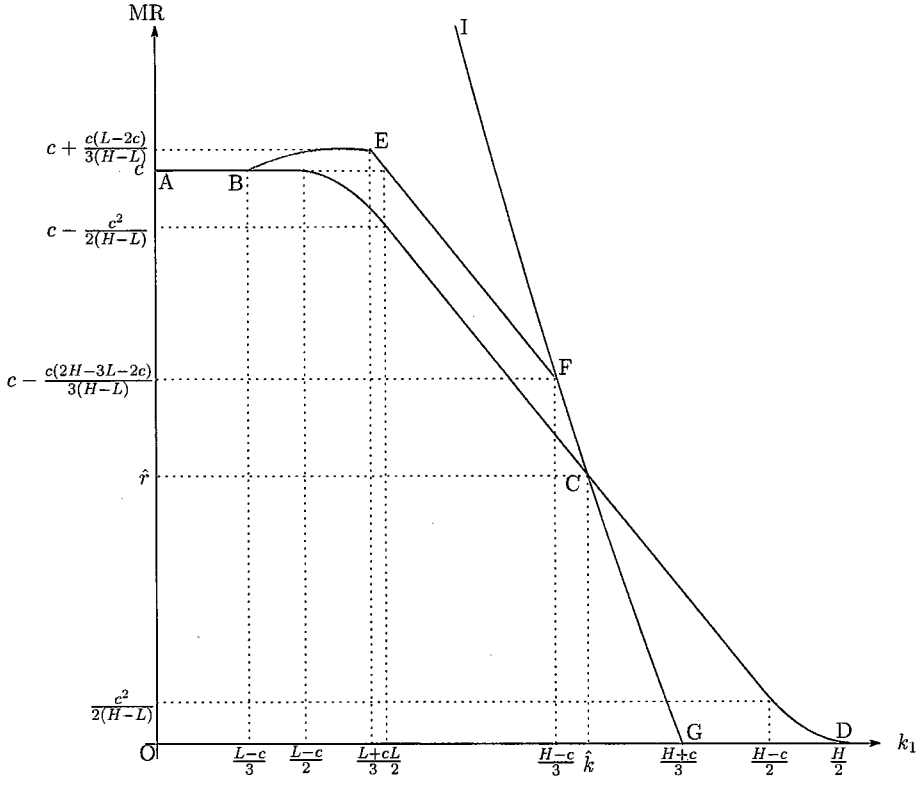

図6　固定費用型発電容量の限界期待収入

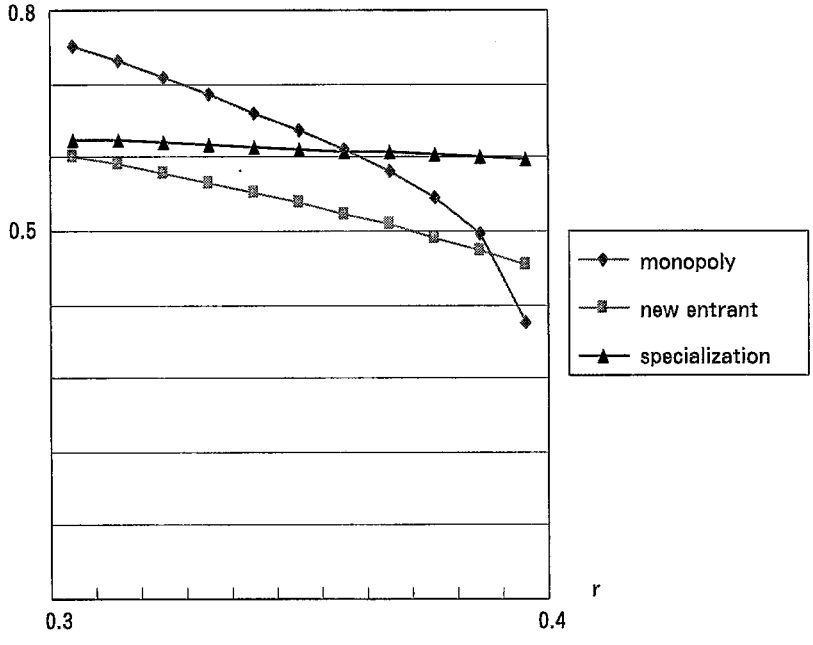

図7　固定費用型発電の期待市場シェア