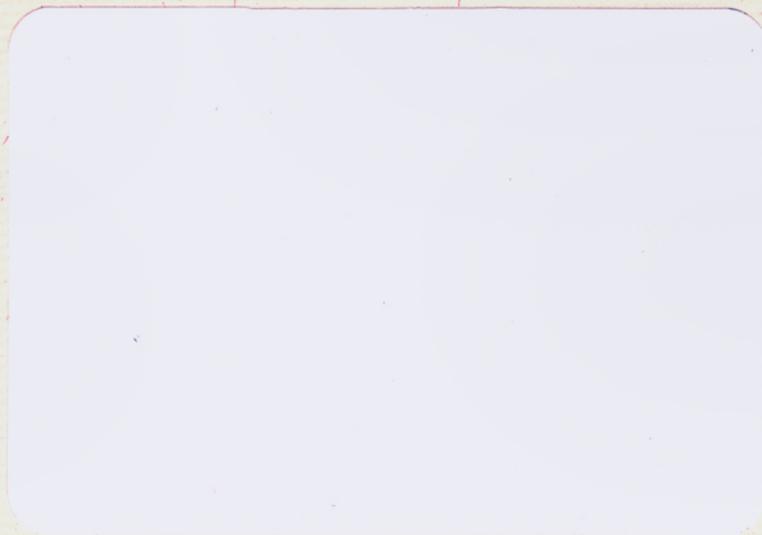


# KEIO DISCUSSION PAPER



CALAMVS GLADIO FORTIOR

№ 74

**KEIO ECONOMIC OBSERVATORY**

**SANGYO KENKYUJO**

**KEIO UNIVERSITY**

MITA MINATO-KU  
TOKYO JAPAN

鉍物資源の多国間一般均衡モデルの  
構築と資源政策  
—銅地金/鉍石の国際寡占市場における分析

野村浩二

2002年5月

KEO Discussion Paper No.74

# 鉱物資源の多国間一般均衡モデルの構築と資源政策

## 一 銅地金/鉱石の国際寡占市場における分析 \*

野村浩二

慶應義塾大学産業研究所

nomura@sanken.keio.ac.jp

2002年5月

### 概要

本稿では、わが国の資源政策の考証を目的として、銅地金と銅鉱石二つの相互依存的な国際市場における多国間一般均衡モデルの構築をおこない、鉱物資源の供給障害リスクに関して数量的評価をおこなう。モデルの構造には非鉄金属市場の特性を反映させることを重視するとともに、鉱物資源の偏在性とその技術特性から、鉱石の生産/輸出各国における寡占的経済行動を前提としている。モデルでは国際市場の需給均衡および Cournot-Nash 均衡の成立により、国際地金価格、国際鉱石価格、そして製錬費 (TC/RC) の国際価格が同時決定される。わが国の資源政策の評価をおこなうために、モデルの構造としては、鉱石の長期契約輸入における市場とスポット市場を分離し、また備蓄放出の効果を評価することができる。

シミュレーションとして次の三つを想定している。第一に、世界最大の銅鉱石生産/輸出国であるチリの鉱石供給障害を想定したケース、第二に、米国に次ぐ世界第二位の銅消費国である中国における地金需要拡大ケース、そして第三にわが国の鉱石の長期契約輸入の評価をおこなうケースである。試算結果は次のようになっている。

チリの銅鉱石生産量に 20 万 t (同国の年間鉱石生産量の 4.8% に相当) あるいは 40 万 t (同 9.5%) の供給障害があったとき、他の鉱石輸出国は増産し鉱石輸出量を増加させるインセンティブを持つけれども、もしそれぞれが 2% まで増産可能であるとすると、国際地金価格はそれぞれ 12.4%、57.7%、また国際鉱石価格はそれぞれ 15.6%、72.6% もの価格高騰効果を持つ。この 20 万 t ケースにおいて、地金の国際価格高騰を相殺するためには 10.6 万 t (供給障害量の約半分) の地金備蓄放出が必要である。もし短期的にチリ以外の鉱石輸出国が増産できないときには、チリの 20 万 t 供給障害においても国際地金価格の価格上昇率は 29.6% へ、鉱石価格は 37.3% へと拡大する。

中国の地金需要が 30% (45.9 万 t) あるいは 60% (91.8 万 t) 拡大したとき、(鉱石輸出各国の増産制約が無いとき) 国際地金価格をそれぞれ 18.5%、49.7%、国際鉱石価格を 22.9%、61.9% 上昇させる。中国が銅地金の消費地生産を志向したとき、同国による鉱石の長期契約輸入量が小さいことを鑑みると、中国の需要拡大は鉱石スポット市場において大きな不安定要因である。

わが国の長期契約による鉱石輸入量が減少し、スポット買いによって調達をおこなわざるを得ないとき、30% (30 万 t) の縮小ケースでは国際地金価格を 7.7%、国際鉱石価格を 6.1% 上昇させる。このとき長期契約輸出国では、わが国の長期契約の縮小分だけ、鉱石のスポット市場において輸出を拡大させることができる。しかし利潤最大化の実現のためすべてを供給しないことにより、国際市場では価格上昇をもたらすことになる。

\*本研究は、資源エネルギー庁および資源・素材学会「主要鉱物資源の供給障害が日本経済に及ぼす影響に関する調査研究委員会」でおこなったものである。高多明委員長 (資源・素材学会 資源経済部門委員会委員長) をはじめ、安達毅 (東京大学地球システム工学)、伊藤俊秀 (関西大学総合情報学部)、大野栄一 (元三菱マテリアル株式会社)、児嶋秀平 (経済産業省資源エネルギー庁鉱物資源課)、新熊隆嘉 (東京外国語大学)、西山孝 (京都大学エネルギー応用科学)、村上進亮 (東京大学地球システム工学)、山富二郎 (東京大学地球システム工学) の各先生には委員会での議論から多くのご助言を、特に大野栄一氏、児嶋秀平氏、野村久夫氏 (日本鉱業協会) には質問に対して随時適切なご回答を頂き、ここに記して感謝します。本稿はその委員会での報告書「主要鉱物資源の供給障害が日本経済に及ぼす影響に関する調査研究」(2002年3月)での第II編に加筆修正をおこなったものである。

## 目次

1	はじめに	1
2	目的と前提	1
3	モデル構造	3
3.1	一般均衡体系	3
3.2	分類と変数定義	5
3.3	国際地金市場	5
3.3.1	地金バランス	5
3.3.2	国際価格	7
3.3.3	地金国産率	8
3.3.4	地金輸出関数	11
3.3.5	国際地金市場均衡	11
3.4	国際鉱石市場	12
3.4.1	鉱石バランス：輸入国	12
3.4.2	長期契約	13
3.4.3	国内鉱とスクラップ	15
3.4.4	鉱石バランス：輸出国	16
3.4.5	鉱石逆需要関数	16
3.4.6	鉱山費用構造	17
3.4.7	鉱石反応曲線	19
3.4.8	国際鉱石市場均衡	21
3.5	均衡解導出と近似	21
4	基準ケース	23
4.1	貿易/生産バランス	23
4.2	名目バランスと関税/国際運賃	24
4.3	長期契約	25
4.4	パラメタ	26
4.5	基準ケース	26
4.6	トータルテスト	28
5	シミュレーション	30
5.1	鉱石供給障害	30
5.2	地金需要拡大	38
5.3	鉱石長期契約	42
6	結論と課題	46
A	変数対応表	49

## 図目次

1	国産地金と輸入地金の代替：国産率関数 $w_{1k}^{dS}$	10
2	エスカレーション条項： $p_{\phi}^{L^S}$ と $p_0^{L^S}$ の地金価格への連動性	14
3	鉱山の短期限界費用および平均費用関数	18
4	鉱石スポット輸入需要曲線	27
5	鉱石スポット市場輸入需要と残差需要	28
6	チリの鉱石供給障害に対する価格指数の変化：増産制約 2%	33
7	増産制約の緩和に対する価格指数の変化：チリの鉱石供給障害 20 万 t	34
8	増産制約の緩和に伴う補償備蓄変分：チリの鉱石供給障害 20 万 t	35
9	中国の地金需要拡大に対する価格指数の変化：増産制約無し	41
10	増産制約の緩和に対する価格指数の変化：中国の地金需要 30% 拡大	41
11	日本の長期契約縮小に対する価格指数の変化：増産制約無し	44
12	増産制約の緩和に対する価格指数の変化：日本の長期契約 50% 縮小	44
13	増産制約の緩和に伴う補償備蓄変分：日本の長期契約 50% 縮小	45

## 表目次

1	地金/鉱石/製錬サービスの産業連関体系	4
2	モデルにおける国分類	5
3	銅地金/鉱石の輸出入・生産需給物量バランス表	23
4	銅地金/鉱石の単価および関税率/国際運賃	25
5	銅鉱石の輸出入における長期契約量の想定値	26
6	各種パラメタ設定値	26
7	トータルテストの想定値：1999/2000 年成長率 (%)	29
8	チリの鉱石供給障害シミュレーション	31
9	機会費用としての TC/RC 変動率 (%)：供給障害シミュレーション	32
10	感度解析：地金の代替弾力性	36
11	価格変動率の感度解析：地金代替弾力性と地金輸出価格弾性	37
12	中国の地金国内需要拡大シミュレーション	39
13	日本の長期契約縮小シミュレーション	43
14	変数対応表	49

## 1 はじめに

本稿では銅の国際市場における多国間一般均衡モデルの構築をおこない、需給両面の様々な要素に起因する一次資源の価格高騰リスクのシミュレーション、およびその供給障害に対するわが国の資源政策を考証することを目的としている。

わが国では現在、特殊法人改革の中で、資源政策の実施機関についても見直しを迫られている。本来の改革のためには、わが国の国益の所在、それと整合する政策のあり方こそが慎重に検討されなければならない。資源政策の評価を目的とするならば、資源セキュリティーの確保を志向することがわが国経済体系の如何なるリスクの緩和に貢献しているのか、この原点の考証こそが不可欠である。それは、一次資源の供給障害による価格高騰リスク、そしてその一国経済体系に齎す波及効果（spillover）を評価することに他ならない。

もし過去の需給量と価格の推移の観察による経験的考証のみによっては、そのような問題設定に対する十分な接近は困難であろう。その観察は既に行われている資源政策の成果を基にした、その上部における現象に過ぎない。過去の観察値の考察のみではなく、それを発生する構造的なメカニズムを検討し、資源政策の持つ経済的外部性を抽出することが必要である。また、検討されるべき供給障害は過去の評価のみではない。それは不確実性はありながらも、将来十分に予想される需給両面の外生的条件の変化による影響であろう、将来に向けての問題設定である。非鉄メジャーによる寡占化はその進行を加速しており、それは近い将来にわが国の資源セキュリティーに対して如何なる影響を齎しうるのだろうか？台頭する中国など新興国の将来の成長軌道によっては、需要面からの如何なる価格高騰リスクを持つであろうか？資源政策の評価のためには、将来の供給障害リスクを検討することができる定量的モデルを構築しなければならない。そのための第一次接近が本稿である。

本稿で構築されるモデルは、銅の地金/鉱石の二つの国際市場における需給構造を描く多国間一般均衡モデルである。生産/消費あるいは輸入/輸出に関する各国の経済行動、特に鉱石の生産/輸出国における寡占的経済行動が、地金と鉱石の相互依存的な二つの国際市場を形成し、両国際市場における需給均衡を達成するように国際地金価格と国際鉱石価格が同時決定される。わが国では価格高騰時のインパクトを緩和させるためにも、多大なコストを払って長期契約による海外鉱石の確保をおこなっている。モデルでは、その評価のためにも、鉱石輸出入において長期契約とスポット市場を分離して描写している。

以下では、はじめに本稿で構築するモデルの目的と諸前提を示すことにする。第3節では国際地金市場および国際鉱石市場のモデルの方程式体系を紹介し、第4節では若干の観察とともに基準ケースとなるシナリオを設定する。そして第5節で、鉱石供給障害、地金需要増大、鉱石の長期契約輸入の評価などについての各種シミュレーションによってわが国の資源政策の考証をおこなうこととしたい。

## 2 目的と前提

われわれの最終的な分析目的は、一次資源の供給障害による価格上昇が、わが国の産業構造、技術構造、または貿易構造のもとで、経済体系へと如何なる波及効果（spillover effect）を齎し得るかを考察することにある。供給障害はさまざまな要素に起因する。鉱石輸出国の減産は、それが経済的要因によって戦略的に意図されたものであれ、あるいは政情不安などによる意図しないものであれ、輸入国にとっての供給障害を齎すであろう。また一方で、中国のような高成長国における輸入量の急速な増大も、地金/鉱石の国際市場において価格高騰をもたらし、それ以外の輸入（消

費) 国における供給障害となるかもしれない。その意味で、供給障害は供給側にのみ起因するものではなく、鉱物資源の需給構造、そしてその市場価格変動によってのみ、定義されまた観察される<sup>1</sup>。本稿でのモデルは、この経済波及効果の分析に接近するための第一段階であり、地金/鉱石の国際市場価格決定メカニズムの描写を通じて、供給障害(価格変動)の可能性をシミュレーションすることを目的とする。その目的に鑑み、本稿におけるモデルは次のような構造と前提を想定している。

第一に、本稿が目的としているのは、一つの均衡状態における需給均衡図式を描くことである。LME や COMEX などの国際市場価格は、需要変動の不確実性、市場参加者の期待あるいは投機的行動などによって影響され、かなりの変動性を持っていることが観察される。仮に分析対象期間を極めて短期(たとえば1日や1週間)とするならば、その価格変動を需給構造モデルによって記述することは困難な作業であろう。この目的のためには需給構造体系を描くモデルではなく、価格が何らかの確率過程に従うモデル設定が適当であるかもしれない。本稿の目的は「需給構造モデル」の構築であり、不確実な情報や投機的行動に依存することなく、確実性を持った各国の需要と供給の経済行動として描かれ、国際市場における均衡の姿を求めることに重点が置かれる。

第二に、地金と鉱石について二つの国際市場を想定する多国間一般均衡モデル(multi-country general equilibrium model)である。地金の市場価格は鉱石の市場価格に依存し、鉱石の需要/生産は地金生産量に依存している。想定する二つの国際市場は相互依存的(interdependent)であり、モデル体系全体としては両市場における需給均衡の結果として地金と鉱石の国際均衡価格が同時決定される。モデル体系において価値基準財(numeraire)はわが国の国内製錬コストである。それを1.0と基準化したもとの、地金と鉱石、および製錬費(TC/RC)の国際均衡価格が求められる。

第三に、不完全競争市場の記述を想定している。鉱石国際市場における需要と供給を構成する市場参加者をみれば、鉱物資源の偏在性とその技術特性から、生産/輸出国(供給側)が寡占的戦略を持つ不完全競争市場を想定することが適当である。鉱山の生産活動は限界費用がほぼ一定であると考えられ、限界費用原理による完全競争的な価格設定がされてはいない、あるいは鉱石供給国の利潤最大化を意図した減産によって市場価格が限界費用から乖離し得ると考えている。もし輸出国(あるいは輸出企業)が市場規模に比して零細にすぎず完全競争市場に近いものであるならば、国家的な備蓄や、わが国の現行の資源政策手段である海外鉱山の自主開発などは、限られた意味しかもたないであろう。

第四に、鉱石輸入の長期契約とスポット市場を分離し、需給構造モデルでは主に後者のスポット市場における価格形成を想定している。長期契約により定められた製錬費(TC/RC)は、地金の市場価格に対して連動性を持つ(エスカレーション条項)。モデルにおいてスポット市場における需給均衡とともに長期契約の描写もおこなわれる。

第五に、需給構造モデルの分析における時間的視野を明らかにしておきたい。供給側と需要側から具体的に示そう。供給側においては、たとえ国際市場における均衡価格の上昇によって、新規鉱山開発や開山へのインセンティブに影響を与えようとも、年間生産可能量(上限値)は鉱石生産/輸出各国で固定されている。このとき各国の短期限界費用は鉱石生産量が年間可能量に接近するにしたがって上昇せざるを得ない(長期では限界費用曲線は右方へとシフトするであろう)。一方、需要側においては地金や鉱石の需要量の決定に際して、一次資源間の代替可能性を拡大させることは無いとしている。電気銅の(恒常的な)価格上昇は、長期的には電気銅の需要先における代替替

<sup>1</sup>ここでの議論は主にベースメタルを対象としている。タンタルのようなレアメタルでは、短期的に供給が完全に途絶される(価格は無限大になる)、狭義の供給障害をも考察しなければならない。レアメタルの供給途絶は生産体系全般にわたって、完全補完的に大きな負の波及効果を持つことになる。

術開発に対するインセンティブを与え、現在よりも一次資源間の代替を促進することもある程度可能であるかもしれない。本モデルでは、鉱石輸出国において新規開山は無く、地金消費国において資源間の代替可能性を想定しない。上記のような意味で、需給両面において短期的な視野を前提としている。ただし、そのことは条件を所与としていることであって、新規開山を含む所与となる外生条件を変えたときのシミュレーションは可能である。

第六に、本モデルは地金/鉱石の国際市場を描く一般均衡モデルであるが、一次資源の価格高騰による一国経済体系への外部性の考察のために、一国経済体系全体を描くモデルへの接合を視野に入れている。わが国のような銅鉱石の輸入国にとって、その輸入需要量は、銅地金の国内生産量に依存している。そして輸入も含めた電気銅の国内需要量は、そのほとんどを銅電線（わが国の2000年では62.6%）や伸銅品（同35.2%）の需要量に依存している。さらに銅電線や伸銅品は、その需要を誘発する電気通信施設建設や各種電気機械の投資および消費需要などに影響され、その最終需要は、家計所得水準、国内総生産（その成長率および将来見通し）や利子率の関数である。それらは究極的には、すべての財・サービス市場、労働市場、資本市場における均衡と同時決定的な性質を持っている。このような経済体系全体における一般均衡的な考察はわれわれの最終的な分析視野のもとにあり、本稿ではその接合を考慮して各国の地金の国内需要量を外生としている。言い換えれば、地金の国内需要については外生的なシナリオや外部モデル構造を与えるようにオープンである。もし経済体系全体のモデルへの接合を待たずとも、本モデルで内生的に決定される地金価格変化による地金の国内需要量の変動について簡単なサブモデルを与えてそれを内生化して解くことも可能である。

第七に、資源政策評価を可能にするものでなければならない。WTOやFTAなどの経済のグローバル化、またLMEなどの国際市場の成熟化が進む中で、果たして一次資源にまで遡った資源確保を国家として推進すべきなのか、あるいは国内製錬会社（スマルター）に対して一国経済の視野からの外部性を鑑み保護的な立場を取るべきなのか、それは民間経済活動のインセンティブの範囲内に留まるべきなのか、国民経済にとって再検討すべき時期を迎えていると言えよう。われわれの構築するモデルは、非鉄金属市場の特性を十分に反映した上で、現行の政策手段の役割を考証できるための表現を備えていなければならない。モデルにおけるその表現を与えるためには、上記のように地金/鉱石の二つの国際市場を設定し、またわが国のように多大なコストを払って実現している長期契約を特掲して描く必要がある。

最後に、本稿のモデルは、各国における非鉄金属市場の需要/供給スケジュール、製錬費（TC/RC）、長期契約、国際市場の描写のために、その構造方程式の持つパラメタについては資料の入手可能性から、モデルを構成する個別の方程式において実証性を犠牲にせざるを得ない面がある。その意味では、現在の需給均衡の構造を前提に、近い将来におけるシミュレーションやその総合的なシナリオの描写における説明可能性を重視したものである。以下ではモデルの方程式体系を示すことにする。

### 3 モデル構造

#### 3.1 一般均衡体系

われわれのモデルは地金および鉱石の多国間一般均衡モデル（general equilibrium model）であるが、まずはじめに一般均衡体系の視野から体系を整理しておきたい。地金と鉱石という二つの財に、製錬サービスという財を追加して考察をおこなう。ここで整理のため、製錬会社の機能を、製錬所（製錬活動）、製錬サービスの提供をおこなう部門（その製錬活動に関わる費用を製錬所に支

払い、国際価格で販売する)、そして実際に鉱石と製錬サービスから地金に変換する部門の三つに分割しておこう。このように、地金/鉱石/製錬サービス/製錬活動という四つの財・商品を想定したとき、 $k$  国において次のような産業連関体系を描くことができる。

表 1: 地金/鉱石/製錬サービスの産業連関体系

	地金 (1)	鉱石 (0)	製錬 S( $\phi$ )	製錬 ( $\psi$ )	消費	輸出	(-) 輸入	生産
地金 (1)					$P_1^* D_{1k}^*$	$P_1^* E_{1k}^*$	$P_1^* M_{1k}^*$	$P_1^* X_{1k}^*$
鉱石 (0)	$P_0^* D_{0k}^*$					$P_0^* E_{0k}^*$	$P_0^* M_{0k}^*$	$P_0^* X_{0k}^*$
製錬 S( $\phi$ )	$P_\phi^* D_{\phi k}^*$							$P_\phi^* X_{\phi k}^*$
製錬 ( $\psi$ )			$P_\psi^* D_{\psi k}^*$					$P_\psi^* X_{\psi k}^*$
付加価値		$V_{0k}^*$	$V_{\phi k}^*$	$V_{\psi k}^*$				
生産	$P_1^* X_{1k}^*$	$P_0^* X_{0k}^*$	$P_\phi^* X_{\phi k}^*$	$P_\psi^* X_{\psi k}^*$				

表 1 は、関税や国際運賃、長期契約などを略して完全に国際的な一物一価のもと簡約化した、需給均衡状態にある均衡取引量と均衡価格の体系を描いている。 $P_1^*$ 、 $P_0^*$ 、 $P_\phi^*$ 、 $P_\psi^*$  はそれぞれ地金/鉱石/製錬サービス/製錬活動の均衡価格であり、 $X_{\#k}^*$  はそれぞれの国内供給量、 $D_{\#k}^*$  は国内需要量、 $E_{1k}^*$ 、 $E_{0k}^*$  は輸出量、 $M_{1k}^*$ 、 $M_{0k}^*$  は輸入量を示している (ただし  $\# = 1, 0, \phi, \psi$ 、ここでは簡単化のため、表記法は以下のモデル方程式体系からは異なっている)。なお、一般に産業連関表において中間消費に計上される地金消費についてはモデルの視野からは最終需要として計上している。モデルでは需給均衡の結果、すべての市場参加国についてこのような産業連関表が求められることになる。表 1 のような投入産出構造を前提としたとき、各市場における需給均衡の達成に関わらず (上付 suffix の \* を取り除いた価格と数量によって)、各  $k$  国において次のような名目の所得支出バランスが成立していることは自明である。

$$P_1 X_{1k} = P_0 D_{0k} + P_\phi D_{\phi k}, P_0 X_{0k} = V_{0k}, P_\phi X_{\phi k} = P_\psi D_{\psi k} + V_{\phi k}, P_\psi X_{\psi k} = V_{\psi k} \quad (1)$$

$$V_{0k} + V_{\phi k} + V_{\psi k} = P_1 D_{1k} + P_1 E_{1k} - P_1 M_{1k} + P_0 E_{0k} - P_0 M_{0k} \quad (2)$$

(1) 式はそれぞれの費用定義式であり、(2) 式は付加価値と最終需要の集計値における恒等関係である三面等価を示している。すべての国において成立する (1) 式および (2) 式を集計し、世界全体の貿易収支の名目集計値が恒等的にゼロであることから次式を求めることができる。

$$P_1 \left( \sum_k D_{1k} - \sum_k X_{1k} \right) + P_0 \left( \sum_k D_{0k} - \sum_k X_{0k} \right) + P_\phi \left( \sum_k D_{\phi k} - \sum_k X_{\phi k} \right) + P_\psi \left( \sum_k D_{\psi k} - \sum_k X_{\psi k} \right) = 0 \quad (3)$$

(3) 式は、それぞれの集計的超過需要 (aggregate excess demand) に価格を乗じたものの集計値は必ずゼロとなることを示す。この関係式は地金/鉱石/製錬サービス/製錬活動の価格 ( $P_1, P_0, P_\phi, P_\psi$ ) がそれぞれの市場の需給均衡を達成する均衡価格 ( $P_1^*, P_0^*, P_\phi^*, P_\psi^*$ ) であるか否かに関わらず、恒等的に満たされる。よって、もし地金/鉱石/製錬サービス/製錬活動の四つの市場のうち、三つの市場において需給均衡が成立すれば、もう一つの市場では必ず需給が均衡していることを意味している。これはワルラス法則 (Walras's law) と呼ばれるものである。本稿での一般均衡モデルでは第四番目の仮想的な財、製錬所による製錬活動は外生変数であるから、地金と鉱石の二つの国際市場における需給均衡 ( $\sum_k D_{1k}^* = \sum_k X_{1k}^*$  および  $\sum_k D_{0k}^* = \sum_k X_{0k}^*$ ) を達成する均衡価格  $P_1^*$  および  $P_0^*$  が求められたとき、Walras's law よって製錬サービス市場での需給均衡 ( $\sum_k D_{\phi k}^* = \sum_k X_{\phi k}^*$ ) は成立している。よってモデルにおける価値基準財 (numeraire) は外生的な製錬活動価格 (製錬コスト) である。

以下での定式化のように、モデルでは関税や国際運賃の存在や、鉱石の長期契約、銅スクラップなどが考慮されており、ここでは基本構造を示しただけに過ぎない。特にモデルでの numeraire はわが国の国内製錬コストであり、その単位製錬コストを 1.0 と基準化したもとの地金/鉱石/製錬サービスの相対価格が求められることになる。

## 3.2 分類と変数定義

モデルにおける国分類は表 2 のとおりであり、モデルで想定する市場参加国は大きく鉱石輸入国群と鉱石輸出国群とに分類される。以下ではそれぞれを集合  $CM$  と  $CE$  として表すことにする。モデルでの経済主体は、表 2 に定義した各国に属する鉱山会社、製錬会社、最終購買者である。また実際には若干の例外国を含み得るが、モデルでは鉱石輸入国群 ( $k \in CM$ ) に属する国では鉱石輸出力がゼロであるとし、鉱石輸出国群 ( $k \in CE$ ) では鉱石輸入および地金輸入がゼロであると想定している。

表 2: モデルにおける国分類

鉱石輸入国; $CM$			鉱石輸出国; $CE$		
1.JP	日本	(1191.2,1358.7)	1.CL	チリ	(1531.8,1780.4)
2.CN	中国	(350.7,554.5)	2.ID	インドネシア	(485.0,644.0)
3.KR	韓国	(327.2,360.0)	3.AU	オーストラリア	(259.2,255.4)
4.DE	ドイツ	(235.5,216.7)	4.CA	カナダ	(263.8,480.2)
5.US	アメリカ	(163.9,0.3)	5.PN	パプア・ニューギニア	(183.8,186.3)
6.R1	RoW(M)	(1175.8,1469.8)	6.PE	ペルー	(48.2,80.2)
			7.R2	RoW(E)	(672.5,533.5)

RoW はその他世界 (Rest of the World)

( ) 内は (1999 年,2000 年) の鉱石輸入量および輸出力 (単位: 地金換算千 t/出典 WBMS)

以下では、地金市場、鉱石市場の順にモデル構造方程式体系を詳述することにする。変数名に関する定義として、各変数の下付 suffix の  $_1$  は地金 (電気銅) を、 $_0$  は鉱石 (銅精鉱) を示すものとする。銅精鉱は一般に金属含有量 (品位) が 20-40% 程度であるが、物量としての鉱石の重量をすべて地金換算 (Metric Ton by Metal Content; 以下では t) し、実際に採掘できる比率 (実収率) を乗じたベースによって定義し、物量単位として地金と統一的に扱えるものとする。また価格変数について大文字の  $P_{\#}$  は基準年単価 (一定値)、小文字の  $p_{\#}$  は価格指数 (基準年値を 1.0 とする) を示しており、その積  $P_{\#}p_{\#}$  が価格である。必要に応じて、変数の上付 suffix の  $^{\$}$  はドル建てによる評価を、 $^S$  はスポット、 $^L$  は長期契約を示している。各種の外生変数および内生変数、パラメタの整理は Appendix の A に整理してある。

## 3.3 国際地金市場

### 3.3.1 地金バランス

ある  $k$  国の地金国内需要量を  $D_{1k}$  としたとき、それは国内生産によって供給がおこなわれるか、あるいは輸入によって需要が充足されることになる。前者 (ただし輸出向け等の生産を含む) を  $X_{1k}$ 、後者を  $M_{1k}$  とすれば、各  $k$  国において次の物量バランス式と名目バランス式 (各国通貨建

て) が成立している。

$$X_{1k} = \begin{cases} D_{1k} + Z_{1k} + E_{1k} - M_{1k} & (k \in CM) \\ D_{1k} + Z_{1k} + E_{1k} & (k \in CE) \end{cases} \quad (4)$$

$$P_{1k}^d p_{1k}^m X_{1k} = P_{1k}^c p_{1k}^m (D_{1k} + Z_{1k}) + P_{1k}^d p_{1k}^m E_{1k} - P_{1k}^m p_{1k}^m M_{1k} \quad (k \in CM) \quad (5)$$

$$P_{1k}^d p_{1k}^e X_{1k} = P_{1k}^d p_{1k}^e (D_{1k} + Z_{1k}) + P_{1k}^d p_{1k}^e E_{1k} \quad (k \in CE) \quad (5')$$

ここで  $E_{1k}$  は地金輸出量であり、それはすべて国内生産される（輸入品の再輸出は無い）ものとする。地金の国内需要量  $D_{1k}$  は中間財としての投入量と民間在庫純増からなり、ひとまず所与としておこう。モデルでは民間部門の在庫残高水準は一定レベルに保たれているものとし在庫純増は明示的に取り扱わないが、 $Z_{1k}$  は国家備蓄や特に LME 指定倉庫などの在庫純増に関しては分離して政策的な外生変数とする<sup>2</sup>。備蓄量の放出（売却）はマイナス値をとり、買入はプラス値をとる。よってこれを加算した  $(D_{1k} + Z_{1k})$  が国内需要量である。価格変数のうち大文字で示した  $P_{1k}^d$ 、 $P_{1k}^m$ 、 $P_{1k}^c$  は、それぞれ国産地金価格、輸入価格（CIF+関税）、そして地金需要者の国内需要価格の基準年単価（各国通貨/t）を示している。国内需要価格は、国産地金販売価格と輸入地金の複合財価格（composite price）として基準年単価が定義されている。一方、小文字で示した  $p_{1k}^m$ 、 $p_{1k}^e$  は、輸入価格指数および輸出価格指数を示す（すべての価格指数は基準年において 1 となるように、それぞれの単価が定義されている）。

(4) 式は産業連関表の産出ベクトルに対応する一般的な物量バランスであるが、(5) 式および (5') 式に示した名目バランスは非鉄金属市場に特有な要素を持っている。まず鉱石輸入国 ( $k \in CM$ ) の名目バランス式である (5) 式の意味を示すことにしよう。一つの特性は、地金の国内販売価格を自由に設定することができず、LME や COMEX などの国際市場で決定される国際地金価格（輸入各国の陸揚げにおける輸入価格  $p_{1k}^m$ ）に連動せざるを得ないことである。よって価格の変動分を示す価格指数では、地金の国内販売価格指数は輸入価格指数と同一であり、(5) 式はその名目販売金額バランス式を示している。ただし基準年単価の格差に観察されるように、国産地金と輸入地金は完全に無差別（完全代替）ではなく、取引ロットや納期の弾力的対応などのサービスを付随するために、輸入地金と国産地金で基準年単価での格差を認めている。鉱石輸入国 ( $k \in CM$ ) について、輸入価格（輸入地金の陸揚げ価格）を次のように定式化しよう。

$$P_{1k}^m p_{1k}^m = e_k (1 + \tau_k) (\gamma_{1k} + P_1^{\$} p_1^{\$}) \quad (6)$$

(6) 式は、国際地金市場におけるドル建ての国際価格  $P_1^{\$} p_1^{\$}$  と各国の輸入価格  $P_{1k}^m p_{1k}^m$  との関係式を示している。手数料に関しては輸入国の差異に依存せずドル建て基準年単価  $P_1^{\$}$  に含まれているものとし、 $e_k$  は為替レート（各国通貨/ドル）、 $\tau_k$  は関税率、 $\gamma_{1k}$  は国際市場における価格基準地から各  $k$  国までの国際輸送マージン額（ドル/t）である。鉱石輸入国においてはこの地金の輸入価格指数  $p_{1k}^m$  が、国内販売価格指数を意味することになる。

一方、鉱石輸出国 ( $k \in CE$ ) における地金取引に関する名目バランス式（物量バランスに同一価格  $P_{1k}^d p_{1k}^e$  を乗じたもの）を示したものが (5') 式である。モデルで想定している鉱石輸出国は、地金の生産/輸出国でもあり、一方で地金輸入量はゼロである<sup>3</sup>。よってここでは、機会費用として

<sup>2</sup>わが国では銅、鉛、亜鉛、アルミニウムを備蓄対象とする輸入安定化のための制度（非鉄金属輸入安定化備蓄制度）が 1976 年度より発足したが、銅は 1977-78 年度に買入がおこなわれ、1978-82 年度ですべて売却されている（資源エネルギー庁 [5]）。その後現在まで銅は備蓄対象ではない。なお 1983 年度からは、金属鉱業事業団でレアメタルを対象として国家備蓄制度を創設している。備蓄対象品目はニッケル、クロム、タングステン、モリブデン、コバルト、マンガン、バナジウムである。また LME 指定倉庫（warehouse）は、世界 12ヶ国 42 地域に 350 の倉庫を指定している。わが国にはその指定は無い。ひとまず  $Z_{1k}$  は外生値とするが、地金の価格高騰に対応した政策的なシナリオを導入することも可能である。

<sup>3</sup>例外的に、表 2 で鉱石輸出国と定義した国のうち、5. パプア・ニューギニアは地金の生産/輸出はゼロであり、また 4.

の地金国内販売価格指数は地金輸出価格指数を基準に連動することとしている。以下の(7)式のとおり、国際地金市場における地金国際価格から国際運賃を除いたものによって、輸出価格（各国通貨建て）が定義されている。

$$P_{1k}^d p_{1k}^e = e_k (P_1^s p_1^s - \gamma_{1k}) \quad (7)$$

以上、地金の名目バランス式を考える上において、モデルの対象国は鉱石輸入国群 ( $k \in CM$ ) と鉱石輸出国群 ( $k \in CE$ ) との二つのグループに分割し、その価格想定値、特に機会費用としての国内販売価格に異なった想定がされていることに留意されたい。鉱石輸入国および鉱石輸出国の国内販売価格は、共に国際地金市場によって決定される地金国際価格に依存していることは同一である。しかし、鉱石輸入国においては地金の輸入価格に、鉱石輸出国では地金の輸出価格に連動することとなっている。既述のように、鉱石輸出国は地金輸入がゼロであり、また一方で地金生産国であっても、相対的に大規模な地金消費国ではない。その地金生産の多くは海外最終購買者向けであり、輸出価格を機会費用として(5')式のような連動を想定することは自然であろう。形式的には、同様な扱いをすることが鉱石輸入国においても可能である。しかしながら、鉱石輸入国に分類される国家群は、一般に地金輸入量が輸出を上回っており、また国内に大規模な地金需要を持つ、地金消費国である<sup>4</sup>。よって各国内で生産された国産地金はその多くが国内最終購買者向けである。このことから鉱石輸入国の定式化としては、大量の国内需要を充足するために輸入価格との比較において地金の国内販売価格を決定していると想定している。

### 3.3.2 国際価格

地金の輸出入に関する定式化の前に、地金/鉱石/製錬サービスのそれぞれの国際価格について整理しておきたい。わが国のような自山鉱を持たない製錬会社（カスタムスマルター）の視野から見れば、非鉄製錬会社にとって地金生産による収益はドル建てで定義される製錬費（TC/RC）のみである。ドル建てによるTC/RCは、製錬サービスの国際価格であると考えることができる。LMEのような地金の国際価格を基準としたとき、製錬会社はTC/RCという国際価格の決定のために鉱山会社と交渉をおこなっている。同じことを、鉱山会社から見ればそれは鉱石の国際価格の交渉を意味している。地金、鉱石、製錬サービスの国際スポット価格には次のような恒等的な関係が成立している。

$$P_1^s p_1^s - P_0^s p_0^s - P_\phi^s p_\phi^s = 0 \quad (8)$$

(8)式における $P_1^s p_1^s$ 、 $P_0^s p_0^s$ はそれぞれ国際地金市場および国際鉱石市場における国際価格、 $P_\phi^s p_\phi^s$ は国際価格として決定される製錬サービス価格（スポットTC/RC）である。この式は、はじめに(1)式に示した地金の費用定義式に他ならない。(8)式は金属含有量による生産/需要重量の定義によって、すべて地金換算1tあたりの単価を示している。モデルで想定する最終購買者、製錬会社、鉱山会社の三者はそれぞれ国際地金価格、国際製錬サービス価格（TC/RC）、国際鉱石価格が、彼らの直接的な費用/収益の源泉となる。

カナダは地理的な条件から米国からの地金輸入が若干存在している。また、中国では銅など地金の輸出に対して輸出関税が賦課されている（本稿で基準年とする1999年では、銅に30%の輸出関税が課されているが、2001年暫定税率では0となっている（日本貿易振興会[9]））。

<sup>4</sup> 鉱石輸入国 ( $k \in CM$ ) の地金輸入量と、地金輸出量を比較すると、1. 日本 (230.1,318.9)、2. 中国 (433.4,77.4)、3. 韓国 (519.0,185.4)、4. ドイツ (605.3,168.0)、5. アメリカ (915.0,25.2) のようになっている（1999年推定値：千t）。地金の輸出入のみからみるとわが国は若干の例外国である。しかしアメリカ、中国に次ぐ地金の一大消費地であり、地金の輸入価格が重要であることに変わりはない。わが国の貿易統計から地金の輸入価格指数を計算すると、地金の国内建値との相関係数は1970-2000年で0.979と非常に高い正の相関を持っており、地金の国内建値は地金輸入価格に強く依存していることが確認される。

### 3.3.3 地金国産率

地金の国内最終購買者の需要量  $D_{1k} + Z_{1k}$ （輸出を除く）に対して、その需要を満たすべく国産量と輸入量を決定しよう。モデルでは鉱石輸出国 ( $k \in CE$ ) における地金輸入量はゼロなので、ここでは鉱石輸入国 ( $k \in CM$ ) における国産率の定式化をおこなう。一般に国産率の決定は、当該財の生産価格と輸入価格の相対価格変化によって影響される、価格効果を持つと考えられる。しかし地金の国内販売価格は、その輸入価格（輸入地金の各国の陸揚げ価格）に連動しており、地金の相対価格に差異が発生する余地は実際に僅かである（モデルでは (5) 式のように発生しない）。これは、生産される財（地金）が質的に類似していること、LME などの国際市場の影響力が強いことなどに起因すると考えられ、非鉄金属市場の大きな特性の一つである。よって地金の販売価格（その変化率）は国内製錬会社と海外製錬会社でほぼ同一であることから、国産率を決定する要素ではない。同様なことは、製錬サービス (TC/RC) のみが製錬会社の生産物であると考えたときにも言える。各国の非鉄製錬会社はその立地の内外に関わらず、TC/RC のドル建てによる国際価格 ( $P_{\phi}^{\$} p_{\phi}^{\$}$ ) に縛られている。

現実には、自国通貨で換算した TC/RC が、その国内コストとの比較において低下（または上昇）したとき、減産（増産）をおこなうであろう。よって一つの定式化の方法は、製錬会社の収益となる TC/RC と、国内での製錬コストとの差異によって定義される利潤を最大化するように生産量（輸出向けを含む）を決定しと考えるものである。利潤最大化のためには、自国通貨で換算した TC/RC が国内製錬コストの限界費用に等しくなるまで、スポット市場で製錬サービスを提供することになるだろう。このとき地金の国産率は事後的に決定されるが、原料となる鉱石の価格を含んだ粗概念ではなく、TC/RC（国際価格）および国内製錬コストといった純概念の価格にのみ依存することになる。

もう一つの定式化は、国産地金と輸入地金が不完全代替の関係にあるとし、両者の純概念による製錬費用の最小化によって表現することである。モデルでは短期的視野から国内製錬コストを外生的に一定とし、内生的に変動する TC/RC の国際価格に依存しながら、国産率を決定するものとしよう。地金輸入各国において輸入地金の製錬サービス価格（それは製錬会社の収益を表す）は、(8) 式における製錬サービスの国際スポット価格  $P_{\phi}^{\$} p_{\phi}^{\$}$  の各国通貨換算値だけではなく、次のように定義することができる。

$$\begin{aligned} P_{\phi k}^{mS} p_{\phi k}^{mS} &= P_{1k}^m p_{1k}^m - P_{0k}^{mS} p_{0k}^{mS} \\ &= e_k \{ (1 + \tau_k) (\gamma_{1k} + P_1^{\$} p_1^{\$}) - (\gamma_{0k} + P_0^{\$} p_0^{\$}) \} \end{aligned} \quad (9)$$

(9) 式における右辺第一項  $P_{1k}^m p_{1k}^m$  は (6) 式に定義した CIF 輸入価格に関税を課した地金輸入価格であり、第二項  $P_{0k}^{mS} p_{0k}^{mS}$  は後の (26) 式で定義される鉱石のスポット輸入価格である。 $P_{\phi k}^{mS} p_{\phi k}^{mS}$  は地金輸入国における TC/RC の国内機会費用 (opportunity cost) を意味している。特に国内機会費用（収益）としては、関税率  $\tau_k$  が賦課されたもとで定義されていることに留意されたい。一方、国内製錬コストを各国通貨建てによって  $P_{\psi k} p_{\psi k}$  と表記しよう。ここで、輸出を除く国内需要量  $D_{1k} + Z_{1k}$  に対して、次の二つの物量ベースによる国産率を定義する。

$$w_{1k}^d = \frac{X_{1k} - E_{1k}}{D_{1k} + Z_{1k}} \quad (10)$$

$$w_{1k}^{dS} = \frac{(X_{1k} - E_{1k}) - M_{0k}^L}{(D_{1k} + Z_{1k}) - M_{0k}^L} \quad (11)$$

モデルの短期的視野からは、長期契約（後の 3.4.2 で詳述）による鉱石輸入分については、製錬会社の収益となる TC/RC はドル建てでほぼ固定されている。よって長契分に関しては、スポット

市場での市況によらず地金生産をおこなうことが現実的であると考えられる。このように長期契約に基づく輸入鉱石  $M_{0k}^L$  については製錬をおこなうことを前提とし、それを上回る国内需要に対して定義された国産率が (11) 式の  $w_{1k}^{dS}$  であり、(10) 式の  $w_{1k}^d$  はそれを含む全体の国産率を示している。前者をスポット国産率と呼んでおこう。物量ベースのスポット国産率  $w_{1k}^{dS}$  を製錬サービスの費用最小化に基づいて次のような関数によって示す<sup>5</sup>。

$$w_{1k}^{dS} = \begin{cases} \frac{1}{1 + \alpha_{1k} \left( \frac{p_{\psi k}}{p_{\phi k}^{mS}} \right)^{\beta_{1k}}} & (k \in CM) \\ 1 & (k \in CE) \end{cases} \quad (12)$$

(12) 式のパラメタ  $\alpha_{1k}$  は基準年（価格指数は 1.0）における輸入地金 ( $M_{1k}$ ) と調整スポット国産地金 ( $X_{1k} - E_{1k} - M_{0k}^L$ ) の物量比である（鉱石輸出国にとっては、地金国産率が 1 であるから  $\alpha_{1k} = 0$  であると解してよい）。 $\beta_{1k}$  は製錬サービスの相対価格変化による代替弾性（elasticity of substitution）を示している。ともに非負値であり、 $\beta_{1k} = \infty$  のとき相対的な国産価格の上昇（または下落）によって実質国産率は  $w_1 = 0$  ( $w_1 = 1$ ) となり、完全代替（perfect substitution）となることを示している。 $\beta_{1k} = 0$  のとき、相対価格の変化によっては物量国産率が全く変化しない完全補完（perfect complementarity）の関係を示す。また  $\beta_{1k} = 1$  のとき、国産率は、名目金額比率が一定値となるように、相対価格の変化によって相対数量が変化する。地金消費者にとって、国産地金かあるいは輸入地金を購入するかを選択は、価格変化に対する数量調整速度、取引数量の多寡、商慣行（系列取引など）、付随サービス（納期の迅速性など）あるいは地金の質の相違などに影響されるであろう。(12) 式による定義は、それらの諸要因による不完全代替性を表現している。

図 1 は国産地金と輸入地金の不完全代替性と製錬サービスの費用最小化による国産率  $w_{1k}^{dS}$  の決定を示している。もし  $p_{\phi k}^{mS}$  が上昇したとき、図の等費用曲線（iso-cost curve）の傾きは小さくなり、輸入地金と国産地金の不完全代替による集計曲線との接点は右方へ移動する。それは輸入地金から国産地金への代替を意味するから、スポット国産率  $w_{1k}^{dS}$  は上昇することになる。また (10) 式および (11) 式より、二つの国産率は次のような関係にある。

$$w_{1k}^d = \frac{M_{0k}^L}{D_{1k} + Z_{1k}} + \left( 1 - \frac{M_{0k}^L}{D_{1k} + Z_{1k}} \right) w_{1k}^{dS} \quad (13)$$

スポット国産率は  $0 \leq w_{1k}^{dS} \leq 1$  であるから、全体としての国産率  $w_{1k}^d$  は (13) 式右辺の第一項がその最小値となる。わが国のように鉱石輸入の多くを長期契約に基づくとき、短期的には長期契約輸入鉱石からの地金生産量が最小生産レベルを与えることになる。

国産率関数の意味を補足しておこう。(12) 式のスポット国産率関数は、(8) 式で想定される製錬サービスの国際価格  $p_{\phi}^S$  の各国通貨換算値ではなく、(9) 式における各国の陸揚げ時における輸入価

<sup>5</sup>(12) 式による地金国産率決定に関する定式化は、国産地金と輸入地金の CES (constant elasticity of substitution) 型集計関数を前提とした、製錬サービスの費用最小化行動によると解することができる。いま  $D = P_{\phi k}^S (D_{1k} + Z_{1k} - M_{0k}^L)$ 、 $X = P_{\psi k} (X_{1k} - E_{1k} - M_{0k}^L)$ 、 $M = P_{\phi k}^{mS} M_{1k}$ 、 $p_{\psi} = p_{\psi k}$ 、 $p_{\phi} = p_{\phi k}^{mS}$  とし（ただし  $P_{\phi k}^S$  は  $P_{\psi k}$  と  $P_{\phi k}^{mS}$  の composite price による基準年単価を示す）。

$$D = (aX^{-b} + (1-a)M^{-b})^{-1/b}$$

という CES 集計関数を想定する。総費用 ( $p_{\psi} X + p_{\phi} M$ ) を最小化するための必要条件は、

$$\frac{M}{X} = \left( \frac{1-a}{a} \right)^{\frac{1}{1+b}} \left( \frac{p_{\psi}}{p_{\phi}} \right)^{\frac{1}{1+b}}$$

であり、 $\frac{P_{\psi k}}{P_{\phi k}^{mS}} \left( \frac{1-a}{a} \right)^{\frac{1}{1+b}}$  および  $\frac{1}{1+b}$  を、それぞれ  $\alpha_{1k}$ 、 $\beta_{1k}$  と置き換えると (12) 式が求められる。

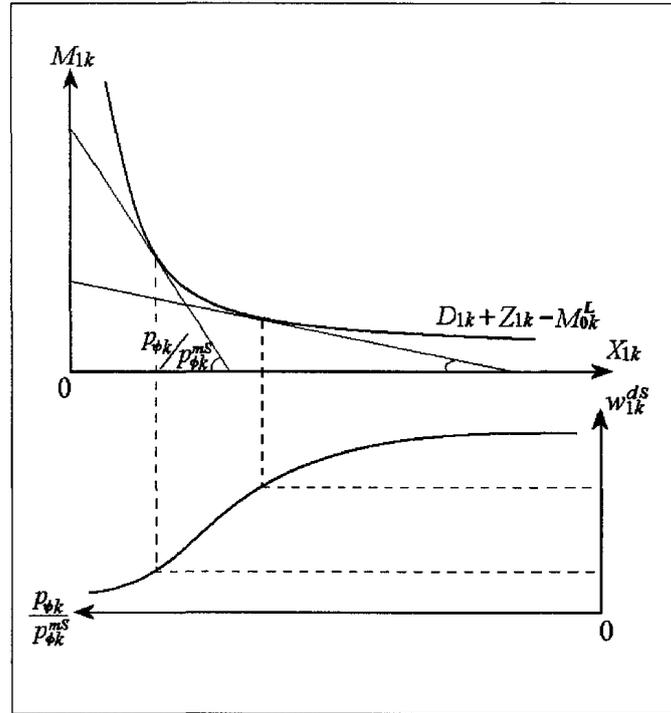


図 1: 国産地金と輸入地金の代替：国産率関数  $w_{1k}^{dS}$

格（各国通貨建て） $p_{\phi k}^{mS}$ によって定義されている。よって、輸入地金に賦課される関税の存在は、輸入国においてはその分だけ高い国内製錬サービスを許容し、国産率を高める要因になっている。逆に関税の撤廃は、(12)式の輸入地金の製錬サービス価格  $p_{\phi k}^{mS}$ を低下させることになるから、国産率を押し下げることになる。また為替変動との関連では、 $p_{\phi k}^{mS}$ は各国通貨建てで定義されていることから、ドルに対する各国通貨の上昇（例えば円高）は輸入地金の製錬サービス価格の低廉化（国内製錬会社の収益低下）をもたらし国産率を下げることになる<sup>6</sup>。

TC/RCの国内機会費用（収益）である  $p_{\phi k}^{mS}$ が(9)式に定義されているように、それは地金の国際価格  $p_1^{\$}$ と鉱石の国際価格  $p_0^{\$}$ に依存して決まっている。もし何らかの外生的ショック、例えば地金需要の急速な増大などによって地金/鉱石の国際市場において一時的に両者の価格が  $p_1^{\$} > p_0^{\$}$ となったとき、それは差分としての  $p_{\phi k}^{mS}$ で示される各国のTC/RCの増加を意味するから、スポット国産率は上昇する。その追加的な地金生産のためには、国際スポット鉱石市場からの輸入の拡大が必要であり、結果として鉱石市場がタイトになってその市場価格  $p_0^{\$}$ は上昇することになる。この地金/鉱石の価格差の縮小によって、TC/RCの増加幅は小さくなるから地金国産率の上昇は抑

<sup>6</sup>わが国の製錬会社を例とすれば、もし製錬会社が、鉱石をドル建てで購入し、製錬した地金を（LMEなどの国際市場価格とはある程度独立に）国内で円建てで販売しているとすれば、円高によって差益が発生するはずである。しかし実際に製錬会社は、買鉱製錬費というドル建てのTC/RCを収入とするのみであり、また賃金やエネルギーなどの実際に国内での製錬に要するコストは円建てによらざるを得ないことから、円高差損および円安差益である。製錬会社にとっての収益がドル建てのTC/RCにのみ依存しているということは、製錬会社が国際競争を常に意識せざるを得ないことを意味している。そして製錬費の為替変動によって生じる差損/差益を（少なくとも短期的には）すべて製錬会社が負うことを示している。このことは、1985年のプラザ合意以降急速な円高を経験したわが国においては、賃金やエネルギーなど実際の製錬コストを円建てに拠らざるを得ない国内の非鉄製錬会社が如何に熾烈な競争に直面していたかを物語っている。非鉄製錬会社は、内需に依存し内外価格差に守られた諸産業と異なり、外需に大きく依存したゆえに熾烈な国際競争に晒され、またそれによって国際競争力を実現した自動車製造業や電気機械産業などと同様である。しかしこれらの製造業がわが国の大きな内需にも支えられていること、そして非貿易財について非効率産業を抱えたわが国との内外価格差の存在を考えると、買鉱製錬費がすべてドル建てで決定される非鉄製錬会社は、それ以上に熾烈な国際競争に晒された産業であると言える。

制されることになる。逆に、鉱石の供給障害などによって  $p_1^{\$} < p_0^{\$}$  となったときには、TC/RC が減少することになるから国産地金から輸入地金への代替がおり、国際地金市場において市場価格  $p_1^{\$}$  が上昇することになる。国産率関数はこのような意味で、地金/鉱石の二つの国際市場間での裁定的な機能を持っている。

以上の定式化から、地金国内需要  $D_{1k} + Z_{1k}$  を所与としたもとで、各国の地金輸入需要量は、

$$M_{1k} = (1 - w_{1k}^d) (D_{1k} + Z_{1k}) = \begin{cases} \frac{D_{1k} + Z_{1k}}{1 + \frac{1}{\alpha_{1k}} \left( \frac{p_{\phi k}^{eS}}{p_{\psi k}} \right)^{\beta_{1k}}} & (k \in CM) \\ 0 & (k \in CE) \end{cases} \quad (14)$$

のような関数によって示すことができる。

### 3.3.4 地金輸出関数

次に地金の輸出（供給）関数を定義しよう。既述の考察と同様に、もし何らかの外的な要因によって地金の国際価格  $p_1^{\$}$  が鉱石の国際価格  $p_0^{\$}$  よりも上昇したとき、それは製錬会社にとって TC/RC の上昇を意味するから、鉱石のスポット買いによって地金生産を増加し輸出することで利益を得ることができる。それは地金国際市場における供給増を意味するから地金国際価格の上昇幅は縮小し、また鉱石輸入量の拡大によって鉱石の国際スポット市場においては価格上昇を促すことになる。この地金と鉱石の価格差の縮小は TC/RC の低下であるから、地金輸出量を抑える要因となる。鉱石輸入がゼロである鉱石輸出国においても、国際鉱石価格の上昇によって機会費用としての鉱石（販売）価格は高まるから、地金の輸出増加は抑制される。ここではこのような関係を想定し、地金輸出関数 ( $k \in CM \cup CE$ ) を次のように定義しよう。

$$E_{1k} = \bar{E}_{1k} \left( \frac{p_{\phi k}^{eS}}{p_{\psi k}} \right)^{\beta_{1k}^e} \quad (15)$$

$$P_{\phi k}^{eS} p_{\phi k}^{eS} = e_k \{ (\gamma_{1k} + P_1^{\$} p_1^{\$}) - (\gamma_{0k} + P_0^{\$} p_0^{\$}) \} \quad (16)$$

輸出量の決定は TC/RC の国際価格と国内製錬コストとの差異に依存して決定されるものとして (15) 式のように定式化している。この輸出関数において、 $\bar{E}_{1k}$  は基準年における各国の輸出量、 $\beta_{1k}^e$  は相対価格変化に対する輸出の価格弾力性を示しており、非負値をとるパラメタである。なお、国産率関数における輸入地金の TC/RC は (9) 式に示すように関税を含む機会費用（収益）として定義されていたが、輸出関数においては (16) 式の  $p_{\phi k}^{eS}$  のようにそれを除いたベースの機会費用が与えられている。

### 3.3.5 国際地金市場均衡

地金の国際市場における需給均衡条件は、地金輸入関数 (14) 式および地金輸出関数 (15) 式によって求められる市場集計需給量の均衡を示す以下の式によって表される。

$$\sum_{k \in CM} M_{1k} = \sum_{k \in CM \cup CE} E_{1k} \quad (17)$$

(17) 式が国際地金市場において満たされるとき、各国の地金物量バランスを示す (4) 式より国内生産量と国内需要量についても  $\sum_{k \in CM \cup CE} X_{1k} = \sum_{k \in CM \cup CE} (D_{1k} + Z_{1k})$  が成立することになる。

る。また各国の地金国産量は、国内需要を充足するための国産量  $w_{1k}^d(D_{1k} + Z_{1k})$  と、輸出供給のための国産量  $E_{1k}$  の和によって、以上から次のように示される。

$$X_{1k} = \frac{D_{1k} + Z_{1k} - M_{0k}^L}{1 + \alpha_{1k} \left( \frac{p_{\psi k}}{e_k \{ (1+\tau_k)(\gamma_{1k} + P_1^s p_1^s) - (\gamma_{0k} + P_0^s p_0^s) \}} \right)^{\beta_{1k}}} + M_{0k}^L + \bar{E}_{1k} \left( \frac{e_k \{ (\gamma_{1k} + P_1^s p_1^s) - (\gamma_{0k} + P_0^s p_0^s) \}}{p_{\psi k}} \right)^{\beta_{1k}} \quad (18)$$

(18) 式は、地金の国内需要  $D_{1k} + Z_{1k}$  など外生的条件を所与としたとき、国際地金価格  $p_1^s$  と国際鉱石価格  $p_0^s$  に依存して、各国の地金国産量が決定されることを意味している。よって各国の地金国産量は、地金と鉱石、二つの相互依存的な国際市場の需給均衡 ((17) 式と後の (44) 式) を達成する国際均衡価格と同時に求められることになる。また各国において地金国産量の決定は、鉱石在庫残高が一定に保たれることを前提にして、鉱石国内需要量の決定を意味する。鉱石の国内需要量を  $D_{0k}$  とすると、地金の国内生産量  $X_{1k}$  に対し、次の物量関係を満たす。

$$D_{0k} = a_{01} X_{1k} = X_{1k} \quad (19)$$

(19) 式の  $a_{01}$  は、物量ベースで定義された投入係数 (input coefficient) を示している。本来、鉱石の品位や実収率によってこの物量投入係数は異なるが、はじめに想定したように金属含有量によって鉱石を実収ベースで地金換算することで  $a_{01}$  は各国共通に 1.0 とすることができる。その単位変換によっては物量として  $D_{0k} = X_{1k}$  が成立している (すでに地金国産率の定式化における長期契約鉱石輸入量  $M_{0k}^L$  の扱いは、この関係を仮定している)。次に、ここで求められる鉱石国内需要量を所与として、国際鉱石市場における需給を示すことにしよう。

### 3.4 国際鉱石市場

#### 3.4.1 鉱石バランス：輸入国

鉱石の輸入各国 ( $k \in CM$ ) においては次の物量バランスおよび各国通貨建ての名目バランスが成立しているものとする。

$$X_{0k} = D_{0k} - M_{0k} \quad (20)$$

$$P_{0k}^d p_{0k}^m X_{0k} = P_{0k}^c p_{0k}^m D_{0k} - P_{0k}^m p_{0k}^m M_{0k} \quad (21)$$

鉱石国内需要量を  $D_{0k}$  としたとき、それは国内生産  $X_{0k}$  によるか、あるいは輸入  $M_{0k}$  によって需要が充足される。なお鉱石の輸入国においては鉱石の輸出はゼロであると仮定している。米国では、国内鉱石の輸送コストと外国への輸送コストとの関係などから、地金生産者の立地条件によっては輸出入ともに存在するが、全体から見るとこれは例外的なものであり、この単純化は妥当であろう。またそれぞれの価格定義は、地金の (4) 式、(5) 式および (5') 式と同様に、大文字の価格はそれぞれ基準年単価 (一定値)、小文字の価格はそれぞれの価格指数 (基準年は 1 となる) を指している。

(21) 式の価格指数定義の意味は、地金の名目バランス式 (5) 式と (鉱石輸入国は輸出量がゼロであるという点を除き) 同様である。国内鉱出やリサイクル銅の機会費用 (収益) は鉱石輸入 (陸揚げ) 価格であり、国内鉱の販売価格指数は鉱石輸入価格指数  $p_{0k}^m$  によって評価されている。

### 3.4.2 長期契約

次に鉱石輸入国の輸入需要量  $M_{0k}$  を、長期契約に基づく鉱石輸入量  $M_{0k}^L$  と、スポット市場において調達される鉱石輸入量  $M_{0k}^S$  とに分割する。それぞれの輸入価格を  $P_{0k}^{mL} p_{0k}^{mL}$ 、 $P_{0k}^{mS} p_{0k}^{mS}$  とし、物量および名目値で次の定義式が成立しているものとする。

$$M_{0k} = M_{0k}^L + M_{0k}^S \quad (22)$$

$$P_{0k}^{mL} p_{0k}^{mL} M_{0k} = P_{0k}^{mL} p_{0k}^{mL} M_{0k}^L + P_{0k}^{mS} p_{0k}^{mS} M_{0k}^S \quad (23)$$

$P_{0k}^{mL}$ 、 $P_{0k}^{mS}$  はそれぞれ基準年における長期契約輸入単価、スポット市場輸入単価（ともに各国通貨建て）、小文字の  $p_{0k}^{mL}$ 、 $p_{0k}^{mS}$  はそれぞれの価格指数を示す。

一般にわが国の海外非鉄資源の確保の方式には、「自主開発」、「融資買鉱」、「単純買鉱」の三つがある（資源エネルギー庁 [5]）。「自主開発」は、海外資源について、調査探鉱段階から自らリスクを負担し、feasibility が認められたもとの、現地法人の設立、資金の提供と鉱山開発等をおこない、生産された鉱石を引き取る方式である。「融資買鉱」は、鉱山開発のための資金を融資することにより、その見返りとして鉱石を長期的・安定的に引き取る方式である。「単純買鉱」は、上記の二方式によらない通常の短期的または長期的な貿易取引である。本モデルでの長期契約は、自主開発と融資買鉱の二方式と、単純買鉱のうち長期的契約を含んだものに対応するものと想定される。モデルの分析対象期間からみれば、長期契約による輸入鉱石量  $M_{0k}^L$  は所与である。よってスポット市場における輸入鉱石量は、総輸入量から長期契約輸入量を除いた差分によって定義される。

次に長期契約による TC/RC および海外鉱への価格面の条件を考察しておきたい。製錬会社は、国際地金市場におけるスポット価格および先物価格などを前提にして、鉱山会社（山元）との交渉によりドル建ての TC/RC を決定する。(8) 式より明らかなように、鉱山会社からみたとき、これはドル建ての鉱石価格の決定を意味するが、輸入される鉱石自体の価格については長期契約の期間（通常 1-2 年）の間で固定されている訳ではない。長期契約時において固定されるのは TC/RC のみである。いま、年初に長期契約を結んだとして、もし期中に LME などの国際地金市場において市場価格が上昇したとしよう。そのとき製錬会社の輸入する鉱石価格は、地金のスポット価格から長期契約時の TC/RC を除いた価格に相応する。実際には、長期契約時の TC/RC も地金の国際価格から完全に独立ではなく、エスカレーション条項と呼ばれる国際地金価格への連動性が予め契約されている。ここでその連動性を定式化し、長期契約輸入時の鉱石価格（ドル建て）を定義しよう。

$$p_{\phi}^{LS} = 1 + \theta_{\phi k} \zeta_{\phi k} (p_1^{\$} - 1), \quad \zeta_{\phi k} = \begin{cases} \zeta_{\phi k}^U & (p_1^{\$} \geq 1) \\ \zeta_{\phi k}^D & (p_1^{\$} < 1) \end{cases} \quad (24)$$

$$p_{0k}^{LS} = \frac{P_1^{\$}}{P_0^{\$}} p_1^{\$} - \frac{P_{\phi}^{\$}}{P_0^{\$}} p_{\phi k}^{LS} \quad (25)$$

TC/RC は溶錬費（Treatment Charge : TC）と電解費（Refining Charge : RC）からなる製錬費であり、そのうち TC は契約期間内で固定されているが、RC はエスカレーション条項によって国際地金価格と連動する。(24) 式における  $\theta_{\phi}$  は製錬費（TC/RC）に占める電解費（RC）の比率を示している。国際地金価格指数  $p_1^{\$}$  の変動に対する連動性のパラメタが  $\zeta_{\phi k}$  であり、地金価格上昇時 ( $p_1^{\$} \geq 1$ ) には  $\zeta_{\phi k}^U$ 、逆に低下したときには  $\zeta_{\phi k}^D$  という連動性が対応している。 $\zeta_{\phi k}^U = \zeta_{\phi k}^D = 1$  のとき  $p_1^{\$}$  と RC は完全に連動し、 $\zeta_{\phi k}^U = \zeta_{\phi k}^D = 0$  のときは TC/RC は長契時に固定され  $p_{\phi k}^{LS} = 1$  となる。実際の長契では、 $\zeta_{\phi k} \geq 1$  となることもあり得る。しかし国際地金価格が低下したときには、 $\zeta_{\phi k}^D \geq 1$  のとき RC がマイナス値になる可能性も考えられるので、ここでは国際地金価格の基準価格（ここでは 1）を境界にその RC の連動性を非対称とし、連動性のパラメタは  $\zeta_{\phi k}^U \geq 0$  およ

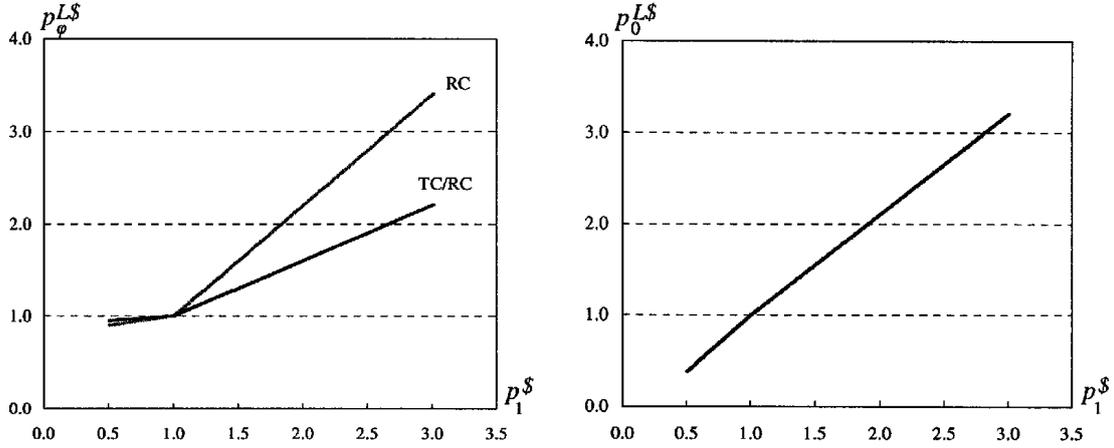


図 2: エスカレーション条項:  $p_\phi^{L\$}$  と  $p_0^{L\$}$  の地金価格への連動性

び  $0 \leq \zeta_{\phi k}^D \leq 1$  の範囲にあるものとする<sup>7</sup>。長契による TC/RC が (24) 式のような地金価格  $p_1^{\$}$  への連動性を持つとき、それに基づく鉱石価格を示したものが (25) 式である。

(24) 式および (25) 式に基づいて、 $\theta_\phi = 0.5$ 、 $\zeta_\phi^U = 1.2$ 、 $\zeta_\phi^D = 0.2$  とし、TC/RC の地金価格に占めるシェアを 20% と想定したときの、国際地金価格  $p_1^{\$}$  の変動による長契 TC/RC (および RC)  $p_\phi^{L\$}$  と長契鉱石価格  $p_0^{L\$}$  を示したものが図 2 である。地金の基準建値からの非対称性を持つこのような想定値のもとでは、地金価格の下落にも関わらず、ドル建ての TC/RC は若干の低下 (地金価格が 50% 低下したとき RC で 10%、TC/RC で 5% 低下) でしかなく、製錬会社の収益安定性の確保にとって大きなメリットとなる。この長契による便益は、鉱山会社が負担すべき費用であるが、長契鉱石価格  $p_0^{L\$}$  でみたとき基準価格 (ここでは 1) の前後で kink するものの地金価格とほぼ連動しており大きな負担ではないと言えるかもしれない。

以上のエスカレーション条項に関する定式化から、鉱石輸入各国のスポット輸入価格、長契輸入価格、およびそれらの平均輸入価格 (すべて各国通貨建て) を次のように定義しよう。

$$P_{0k}^{mS} p_{0k}^{mS} = e_k \left( \gamma_{0k} + P_0^{\$} p_0^{\$} \right) \quad (26)$$

$$\begin{aligned} P_{0k}^{mL} p_{0k}^{mL} &= e_k \left( \gamma_{0k} + P_0^{\$} p_{0k}^{L\$} \right) \\ &= e_k \left( \gamma_{0k} + P_1^{\$} p_1^{\$} - P_\phi^{\$} p_{\phi k}^{L\$} \right) \end{aligned} \quad (27)$$

<sup>7</sup> エスカレーション条項は、製錬会社と鉱山会社との長期契約時の相対取引における交渉によって、連動性などについての条件が異なり得る。ここで定式化したように、地金価格の上昇時には連動性が強く、低下期には連動性が弱いなどの基準価格から非対称な契約もおこなわれているし、(現実的な価格変動幅を暗に仮定して) 対称的な契約もおこなわれている。また Price Participation: PP と呼ばれる国際地金価格に対する連動比率も、長契時に同時に交渉がおこなわれており、エスカレーション条項について一つのルールと連動性に関する基準値がある訳ではない。本稿の定式化はその近似的表現を与えている。

モデルでの表現を離れて、仮に一つの数値例を考えてみたい。いま TC が 70\$/dmt、RC が 7c/lb (dmt は dry metric ton で鉱石自体の重量であり銅品位を 30% とすれば 70\$/dmt=10.6c/lb=233.3\$/t、c はセント、lb はポンド)、国際地金価格の基準価格を 90c/lb、連動比率を上昇時 0.1、下落時 0.01 としよう。もし値決め月 (Quotational Period: QP) の建値が 99c/lb (または 117c/lb) に上昇したとすると、RC は 7+0.9=7.9c/lb (7+2.7=9.7c/lb)、TC/RC 全体では 17.6+0.9=18.5c/lb (17.6+2.7=20.3c/lb) となる。よって地金価格の 10% (30%) 上昇によって、RC は 12.9% (38.5%)、TC/RC 全体では 5.1% (15.3%) の上昇となる。逆に QP 時の建値が 81c/lb (また 63c/lb) に下落したとすると、RC は 7-0.09=6.91c/lb (7-0.27=6.73c/lb)、TC/RC 全体では 17.6-0.09=17.51c/lb (17.6-0.27=17.33c/lb) となる。よって地金価格の 10% (30%) 下落によって、RC は 1.3% (3.9%)、TC/RC 全体では 0.5% (1.5%) の下落となる。

$$p_{0k}^m = \frac{P_{0k}^{mS} M_{0k}^S}{P_{0k}^m (M_{0k}^S + M_{0k}^L)} p_{0k}^{mS} + \frac{P_{0k}^{mL} M_{0k}^L}{P_{0k}^m (M_{0k}^S + M_{0k}^L)} p_{0k}^{mL} \quad (23')$$

(26) 式および (27) 式では、鉱石輸入国では海外鉱に対して関税が賦課されないものとしている。(27) 式の  $p_{\phi}^{LS}$  に (24) 式を代入することで、長契鉱石輸入価格は国際地金価格  $p_1^{\$}$  の関数になる。また  $\gamma_{0k}$  は鉱石の国際運賃比率 (ドル/t) であり、地金換算によって重量を評価していることから、一般に地金の国際運賃率  $\gamma_{1k}$  よりも大きな値をとる。(22) 式の物量バランスおよび (23) 式の名目バランスより定義される、鉱石平均輸入価格 (長期契約分とスポット市場からの輸入分のウェイト付平均値) が (23') 式である。鉱石の長期契約輸入量  $M_{0k}^L$  は短期的に所与であり、モデルにおいてスポット輸入量  $M_{0k}^S$  が内生的に解かれるとともに平均輸入価格  $p_{0k}^m$  が求められる。(21) 式のように、鉱石輸入国ではこの平均輸入価格が鉱石国内価格の機会費用を与える。

### 3.4.3 国内鉱とスクラップ

鉱石輸出国 ( $k \in CE$ ) の海外鉱依存はゼロであるから、ここでは鉱石輸入国 ( $k \in CM$ ) における国内鉱生産について定式化をおこなう。鉱石の国内生産量  $X_{0k}$  は、主に国内鉱出とスクラップ出 (リサイクル) によるものに分割される。

わが国の銅の国内鉱出をみると、1955 年には 185 鉱山、1971 年には 71 鉱山が稼行していたが、鉱量枯渇に加え、エネルギーコスト上昇や円高などの経済的影響によって、1995 年にはすべての銅鉱山が閉山している。生産量で見ると 1970 年の 12 万 t 程度 (地金換算) から、1999 年には僅か 900t (同年次の地金生産量 134 万 t の 0.067%) にまで激減している。1995 年以降の銅鉱石生産は、鉛・亜鉛などの国内鉱山からの付随的な鉱出に限られることから、わが国の銅国内鉱出量は少なくとも短期的には鉱石輸入価格  $p_{0k}^m$  に非感応的であると考えられる。これは鉱石輸入国のうち 3. 韓国、4. ドイツなどでも同様である。

一方、銅スクラップのリサイクルでは、わが国でも年間 10 万 t 程度の回収がおこなわれている<sup>8</sup>。一般に、国内リサイクル供給量の決定は、リサイクル活動における選別・製錬コストや輸送コストなどはもちろんのこと、機会費用 (収益) としての鉱石の輸入価格  $p_{0k}^m$  にも大きく依存している。海外鉱の価格  $p_0^{\$}$  の上昇は、国内リサイクル業者の供給量を増加させるインセンティブを持つが、それを国内供給に限るのであれば様々な制約により短期的な視野からの価格弾性はさほど大きくはないであろう。銅または銅合金のスクラップの輸入を含めて考えると、制約は緩和され価格効果はもう少し大きなものであるかもしれない。実際に 5. ドイツでは銅スクラップの輸入が多く、2. 中国でも拡大傾向にある。そのような表現のためには、国際スクラップ市場を描写する必要があり、主要な市場参加主体はスクラップの輸入国も輸出国もともに地金消費国であろう。本稿では、リサイクル業者の供給行動の詳細な描写や、国際スクラップ市場も内生的に含んだ一般均衡モデルへの拡張は次の検討課題とし、ここでは単純化して、銅スクラップ回収に与える価格効果の考慮と、5. アメリカや 2. 中国などの国内鉱出 (それらはすべて国内需要 = 国内地金生産向け) の存在を含めて、次のように示すものとする。

$$X_{0k} = \bar{X}_{0k} \left( \frac{p_{0k}^m}{p_{0k}^d} \right)^{\beta_{0k}} \leq \hat{X}_{0k} \quad (28)$$

<sup>8</sup> 銅や銅合金のリサイクルには、非鉄金属製品製造業内で新規に自家発生したものと、過去に生産、消費/資本蓄積されたものから回収される故銅/故銅合金がある。前者はそのままリサイクルされるが、後者は製錬過程に戻されるものと、製錬過程を要せずに利用されるものがある。製錬過程を必要としない銅スクラップは、地金生産との代替品であると言えるが、モデルではそれもすべて地金生産量  $X_{1k}$  に含めて定義し、単純化のため鉱石生産の段階で銅スクラップが投入されていると一元化している。

ここで  $p_{0k}^d$  は鉍石輸入国における国内鉍および銅スクラップの生産/回収コスト指数、 $\bar{X}_{0k}$  は国内鉍およびスクラップの基準生産量を示しており、モデルでは外生的に与えられて短期的に一定値をとるものとしよう。また (23') 式に与えられる輸入価格指数  $p_{0k}^m$  は、名目バランスを示す (21) 式のように、鉍石輸入国における鉍石の機会費用である。パラメタ  $\beta_{0k}$  (非負値) は相対価格の変化による国産鉍石の価格弾性を意味する。ここではスクラップの貿易を描かないため、銅スクラップ消費量についてはすべて国内で発生したかのような扱いをおこなう。産業連関表上のバランスで言えば、それは総固定資本形成におけるマイナス計上 (ストーン方式) をおこない、国内生産  $X_{0k}$  からは除かれる。ここでは銅スクラップの投入も  $X_{0k}$  に含めて、バランスが維持されている。また長契輸入鉍石に制約される短期的な視野から、国産量は  $X_{0k} \leq D_{0k} - M_{0k}^L$  であるとしよう。国産率は、事後的に次のように定義される。

$$w_{0k}^d = \frac{X_{0k}}{D_{0k}} = \frac{\bar{X}_{0k} \left( \frac{p_{0k}^m}{p_{0k}^d} \right)^{\beta_{0k}}}{D_{0k}} \quad (29)$$

地金国産率 (12) 式の  $\beta_{1k}$  が相対価格の変化による国産地金と輸入地金の代替弾性を示していたのに対し、鉍石国産率 (29) 式の  $\beta_{0k}$  は価格弾性を示している。

#### 3.4.4 鉍石バランス：輸出国

鉍石の輸出各国 ( $k \in CE$ ) においては、鉍石取引において次の物量バランスおよび各国通貨建ての名目バランスが成立しているものとする。

$$X_{0k} = D_{0k} + E_{0k} = D_{0k} + (E_{0k}^L + E_{0k}^S) \quad (30)$$

$$X_{0k} \leq \hat{X}_{0k} \quad (31)$$

$$P_{0k}^d p_{0k}^e X_{0k} = P_{0k}^d p_{0k}^e D_{0k} + P_{0k}^d p_{0k}^e E_{0k} \quad (32)$$

$$P_{0k}^d p_{0k}^e = e_k \left( P_0^{\$} p_0^{\$} - \gamma_{0k} \right) \quad (33)$$

鉍石輸出国は鉍石輸入に関してはゼロであるから、鉍石国内需要量を  $D_{0k}$  としたとき、それはすべて国内鉍によって充足される。それに輸出量  $E_{0k}$  (長期契約による輸出  $E_{0k}^L$ 、スポット輸出  $E_{0k}^S$ ) を加えたものが鉍石国産量  $X_{0k}$  である。鉍石輸出国の上記名目バランス式における価格定義は、地金の (5') 式および (7) 式と同様であり、鉍石輸出国は、鉍石輸出価格指数  $p_{0k}^e$  を機会費用として国内販売価格を連動させることができるとしている。(33) 式のように、国際鉍石市場における市場価格から国際運賃  $\gamma_{0k}$  を除き、輸出価格 (各国通貨建て) が定義される。

また (31) 式における  $\hat{X}_{0k}$  は、鉍石生産量の上限値を示している。モデルにおける短期的な視野からは、新規開山を想定しないことから年間可能採掘量の範囲内で鉍石生産/輸出をおこなうことができる。では、以上の価格定義および物量・名目バランスのもとで、鉍石輸出各国は利潤最大化となるような最適スポット輸出量を決定するものとしよう。

#### 3.4.5 鉍石逆需要関数

はじめに鉍石輸出国の直面する国際鉍石市場における (逆) 需要関数を求めておこう。地金/鉍石の国際市場の以上の定式化から、(18) 式、(19) 式、(22) 式、(23') 式、(24) 式、(26) 式、(27) 式、(29) 式よりスポット市場における輸入各国の鉍石需要量を導出することができる。

$$M_{0k}^S = (1 - w_{0k}^d) D_{0k} - M_{0k}^L = X_{1k} - X_{0k} - M_{0k}^L$$

$$= \frac{D_{1k} + Z_{1k} - M_{0k}^L}{1 + \alpha_{1k} \left( \frac{p_{\psi k}}{e_k \{ (1+\tau_k)(\gamma_{1k} + P_1^S \hat{p}_1^S) - (\gamma_{0k} + P_0^S p_0^S) \}} \right)^{\beta_{1k}} + \bar{E}_{1k} \left( \frac{e_k \{ (\gamma_{1k} + P_1^S \hat{p}_1^S) - (\gamma_{0k} + P_0^S p_0^S) \}}{p_{\psi k}} \right)^{\beta_{1k}}} \quad (34)$$

$$- \bar{X}_{0k} \left( \frac{P_{0k}^{mS} p_{0k}^{mS} M_{0k}^S + M_{0k}^L e_k \hat{p}_1^S (P_1^S - P_\phi^S \theta_{\phi k} \zeta_{\phi k}) + M_{0k}^L e_k \{ \gamma_{0k} - P_\phi^S (1 - \theta_{\phi k} \zeta_{\phi k}) \}}{P_{0k}^m p_{0k}^d (M_{0k}^S + M_{0k}^L)} \right)^{\beta_{0k}}$$

ただし、 $\ln \hat{p}_1^S = \xi \ln p_0^S$  (35)

鉱石の輸入需要者にとっては、モデル体系全体の外生値である地金の国内需要量まで遡って描かれる必要は無く、鉱石の国内需要量を前提にスポット輸入需要関数を描くだけで十分である。しかし以下で、鉱石輸出国の寡占市場における行動を描写するためには、国際鉱石市場での（輸出）供給総量による鉱石国際価格の変動を、いわゆる逆需要関数（inverse demand function）によって描くことが必要となる。そのために地金と鉱石の国際市場の連動性を内包した鉱石国際スポット価格と鉱石スポット輸入量の関係式を求めたものが(34)式である。そして(34)式の集計によって市場逆需要関数を求めたとき、鉱石輸出国の（輸出）供給総量の変動によって二つの市場の相互依存性から導かれる鉱石国際価格の変動が、利潤最大化をおこなう鉱石輸出国の生産量の決定に重要な情報を与える。

鉱石輸出国は鉱石国際価格  $p_0^S$  の上昇に対する地金国際価格  $p_1^S$  の連動性に対して何らかの期待を持つであろう。その連動性が(35)式の期待国際鉱石価格  $\hat{p}_1^S$  であり、連動性を示すパラメタが  $\xi$  である。 $\xi$  は地金需要を一定に保つような鉱石価格変動に対する地金価格の連動性を意味している。もし鉱石価格上昇があったとき、地金国内需要  $D_{1k}$  は不変のまま地金価格上昇が完全に連動（転嫁）して上昇しようと考えれば、その連動パラメタ  $\xi$  は1である。このような完全な連動を想定すれば、（差分によって定義される）TC/RCも同様に上昇する。それは輸入地金から国産地金への代替を促し、それは鉱石輸入需要を増加させるから、鉱石の輸入需要関数は右上がりになる可能性がある。もちろん実際には地金価格の上昇は、地金需要の減少をもたらす価格効果を持つから、このような期待は極めて強いものであると言える。一般に  $\xi < 1$  であり、鉱石価格の上昇ほど地金価格は上昇せずに、TC/RCは低下していくものと考えよう。

(34)式は、スポット市場における各国の輸入量  $M_{0k}^S$  と国際鉱石価格  $p_0^S$  の満たす関係式である。この価格と数量の関係式は陰関数と表現され、直接的に需要曲線や逆需要曲線のような陽関数として扱うことが出来ないが、後述のように均衡解導出のプロセスにおいてはその世界集計値である、市場の逆需要関数を求め、数値計算によって非線形近似をおこなう。

### 3.4.6 鉱山費用構造

国際鉱石市場における供給構造に接近するために、はじめに鉱山の生産技術条件から短期限界費用曲線と平均費用曲線の姿を類推しておきたい<sup>9</sup>。鉱山は固定費が大きく、操業における限界コスト

<sup>9</sup> 鉱山の生産活動は、採鉱と選鉱に分割される。採鉱では地表から浅い鉱床に適した露天採掘法と、深い鉱床に適した坑内採掘法があり、0.6-3%程度の金属含有量を持つ銅鉱石を採掘する。銅鉱石は粉碎され、不純物を取り除く選鉱（水と混ぜ油、薬品などを加えてかき回して、泡の表面に銅鉱物を附着させる浮遊選鉱などの様々な方法）によって、含有量20-40%程度の銅精鉱と呼ばれるパウダー状の原料を得ている。本稿での鉱石とは銅精鉱までのプロセスを指し、ここでの費用曲線の検討は採掘と選鉱までのプロセスを簡約したものである。

わが国のように鉱山を付随しないカスタムスマルターは、この銅精鉱を輸入し、熔錬（スマルティング）工程によって純度97-99.5%の粗銅（プリスター）へ、そして電解精錬によって純度99.99%の電気銅（銅地金）を生産している。このような方法は乾式製錬法と呼ばれている。一方、近年チリなどでは低コストなSX/EW法と呼ばれる湿式製錬法が急増し

トは相対的に小さい典型的な平均費用逓減産業である。いま各鉱山について年間可能採掘量という上限があることを仮定し、また限界費用は年間可能採掘量より小さい水準においては一定であるものとしよう。鉱山その固定費と変動費の内訳に関する詳細な資料を入手することは難しいが、一般に議論される鉱山のコストは操業コストと呼ばれる総平均費用であり、それは標準的な操業の想定のもとではば一定値として扱われている。その想定操業コストにおける内訳として平均固定費用は依然としてある程度のシェアを占めているものと考えられるから、そのとき限界費用は平均費用を下回っているはずである。年間可能採掘量に接近したとき、短期限界費用は急速に上昇し（平均費用の最下点で交わる）、伴って平均費用も上昇する。図3は、上記のような関係を示している。

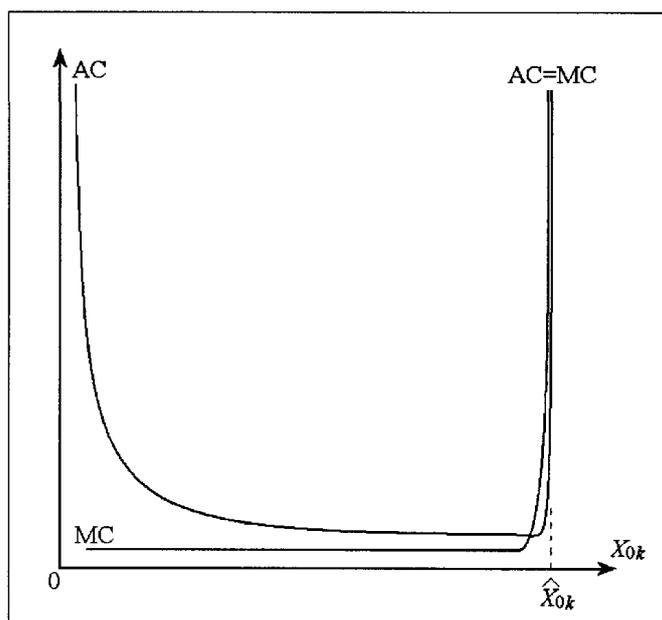


図3: 鉱山の短期限界費用および平均費用関数

一つの鉱山が一つの供給主体であり、それぞれは鉱石市場の市場規模からみたとき零細であるとみなし、完全競争的に価格を所与として操業をおこなうことを仮定すれば、所与の価格と短期限界費用が一致する点まで操業をおこなうことが利潤最大化をもたらす。この鉱石価格が平均費用を上回っていると想定すると、このとき各鉱山はそれぞれの採掘量の上限値  $\hat{X}_{0k}$  まで採掘をおこなうことになる。また仮に所与とする鉱石価格が平均費用を下回っていると、限界費用を上回っていれば限界費用と一致するところまで生産をおこなうことになるであろう。よって各鉱山が零細で完全競争による価格受容者（price taker）として行動するのであれば、図3における短期限界費用曲線はそれ自体が供給曲線を与えることになる。このとき市場全体の供給曲線は、各鉱山の供給曲線の集計（水平和）による step function によって表されることになる。そして需給均衡による鉱石市場全体の年間総生産量の増減は、各鉱山の増産・減産によるものではなく、限界費用の高い鉱山の休山・閉山によるものと解されなければならない（限界的な鉱山を除き、操業している鉱山はすべて年間可能採掘量まで生産をおこなっている）。各鉱山にとって、実際には休山/閉山は極め

ており、1999年では世界のSX/EW法による銅生産の60%をチリが占めている。増田・安達・山富 [10]によると、1970年からの銅生産能力当たりの起業費は時系列的に低下傾向にあり、また浮遊を主体とした鉱山と比較するとSX/EW法を主体とした鉱山の起業費は低い傾向にあることが指摘されている。このような技術条件の詳細に関して表現をおこなう生産関数上の定式化はわれわれの課題として残されている。

て困難な選択肢であることから、このような完全競争的市場観は適切ではないかもしれない。

また実際に観察されるような非鉄メジャーによる寡占化のもとでは、市場における供給主体は零細な各々の鉱山ではない<sup>10</sup>。非鉄メジャーはそれぞれの鉱石の増産（または減産）が、国際鉱石市場において価格下落（上昇）をもたらしうることを十分に理解しているはずである。そのとき鉱石供給者の経済行動は、自らに与えられた（逆）需要曲線の形状を前提に、利潤最大化の達成のために増産・減産することである。つまり自らの生産増による追加的な限界収入と限界費用が一致するところまで操業をおこなうことになる。以下ではこのような寡占市場モデルを想定することとしよう<sup>11</sup>。

### 3.4.7 鉱石反応曲線

はじめに、鉱石の輸入各国の輸入需要関数 (34) 式より集計して求められる逆需要関数 (inverse demand function) および鉱石輸出国の収入  $R_{0k}$  を次のように示す。

$$p_0^{\$} = p_0^{\$} \left( \sum_k E_{0k}^S \right) = p_0^{\$} (E_0^S) \quad (36)$$

$$R_{0k} = P_{0k}^d p_0^{\$} (E_{0k}^S + E_{0,-k}^S) E_{0k}^S \quad (37)$$

$E_{0k}^S$  は  $k$  国 ( $k \in CE$ ) の鉱石スポット輸出量であり、 $E_{0,-k}^S$  は  $k$  国以外のスポット輸出量を示している。両者の合計は市場の輸出総供給量  $E_0^S$  である。(36) 式の市場の逆需要関数は、各国の輸入需要とスポット市場価格の関係式が (34) 式のように陰関数であることにより、ここでは一般的に示しておく（その近似については後の 3.5 で扱う）。 $k$  国の鉱石スポット輸出による限界収入 (marginal revenue : MR) を (38) 式のように求めることができる。

$$\frac{dR_{0k}}{dE_{0k}^S} = P_{0k}^d p_0^{\$} + P_{0k}^d \frac{\partial p_0^{\$}}{\partial E_0^S} (1 + \lambda_{0k}) E_{0k}^S \quad (38)$$

$$\lambda_{0k} = \frac{dE_{0,-k}^S}{dE_{0k}^S} \quad (39)$$

限界収入を示す (38) 式において、(39) 式のように定義される  $\lambda_{0k}$  は、 $k$  国が鉱石輸出量を変化させた場合に、 $k$  国以外の輸出国がどのくらい鉱石輸出量を変化させるであろうかという、 $k$  国の予想を示したものであり、推測的変動 (conjectural variation) と呼ばれる。一般に推測的変動は  $-1 \leq \lambda_{0k} \leq 1$  の値をとる。 $\lambda_{0k} = -1$  のとき右辺第二項はゼロとなるから、 $MR = P_{0k}^d p_0^{\$}$  である。それは、追加的な輸出増によって得られる追加的な収益は一定であること、つまり追加的な輸出/生産は市場において価格下落を齎さないと期待している（価格受容者である）ことを意味してい

<sup>10</sup>資源エネルギー庁 [6] (出典は Raw Materials Data Nov.2000) によると、1963 年では上位十社によって世界鉱石生産量の 65.4%、1999 年時点では同 63.2%を占めている。

<sup>11</sup>本稿のモデルでは一国を一つの経済主体であると擬制している。本来、国境を越えた非鉄メジャーの資本と生産国は一対一対応するものではないから、CODELCO(CL)、Phelps Dodge(US)、BHP Billiton(AU-UK ; Billiton は 2000 年 10 月に Rio Algom の完全買収、昨年に BHP と Billiton は合併)、などの非鉄メジャーを経済主体として扱うべきであろう。世界最大の銅鉱山 Escondida(CL) についてみれば、57.5%の権益を有するのは BHP Billiton であり、豪/英系の同社も銅生産はチリとペルーに集中しつつある。これはわれわれの次の課題となる。

また、各経済主体の戦略は輸出量（生産量）の選択に基づいている。このように各主体が競争相手の生産量を観察しつつ、利潤最大となるような生産量を決定するモデルは、生産決定型寡占モデル (quantity-setting oligopoly model) と呼ばれる。これと対照的に、ベルトラン・モデル (Bertrand model) のように、競争相手の価格を観察しつつ、利潤最大化を図るような価格設定をおこなうモデルは、価格決定型寡占モデル (price-setting oligopoly model) と呼ばれる。銅市場を想定したとき、世界の鉱石輸出量の 30%程、地金輸出量の 38%程を占めるチリ（あるいはその最大手 CODELCO）であっても独占的な価格設定をすることはできず、輸出各国は戦略的に生産量（輸出量）を決定し、国際市場によって決定される価格を受け入れていると考えることができよう。

る。よってこのときは、完全競争市場と同一の供給行動をとる。 $-1 < \lambda_{0k}$  のとき、追加的な輸出増は (38) 式第二項の分だけ限界収入を低下させることになり、特に  $\lambda_{0k} = 1$  のとき、 $k$  国の追加的な輸出増は  $k$  国以外の同等の輸出増を誘発し、それは (36) 式の市場の (逆) 需要曲線に沿って価格低下をもたらす。これは  $k$  国の直面している需要曲線が市場全体の需要曲線であることを意味するから、独占市場に直面していると認識していることと同一である。

推測的変動が  $-1 < \lambda_{0k} < 1$  にある寡占市場のうち、 $\lambda_{0k} = 0$  のときクールノーの仮定と呼ばれる寡占市場観を示す。 $\lambda_{0k} = 0$  のとき、 $k$  国は自国の輸出量を変更することによって、 $k$  国以外の輸出競争国は輸出量を以前のままに維持するであろうと予測することを意味している。言い換えるならば、 $k$  国にとって  $k$  国以外の輸出競争国の輸出量は所与である。もしすべての鉱石輸出国においてクールノーの仮定が満たされている場合における均衡状態は、クールノー・ナッシュ均衡 (Cournot-Nash equilibrium) と呼ばれている。モデルではクールノーの仮定を基準のケースとして、各鉱石輸出国が輸出量を決定するものとしよう。このとき (38) 式より明らかのように、国際鉱石市場における逆需要関数の形状 (価格の供給弾力性)、特に競争国の輸出量を所与としたもとの残差需要 (residual demand) が重要な意味を持つ。クールノーの仮定のもとでは各々が直面する (と考える) 需要曲線は、競争相手国の輸出総量を所与としたときの残差需要曲線である。次に、鉱石輸出国の輸出量の変動に基づく費用  $C_{0k}$  および限界費用 (marginal cost : MC) を次のように定義する。

$$C_{0k} = P_{0k}^d \left( a_{0k}^C + b_{0k}^C E_{0k}^S + \frac{c_{0k}^C}{\hat{E}_{0k}^S - E_{0k}^S} \right) \quad (40)$$

$$\frac{dC_{0k}}{dE_{0k}^S} = b_{0k}^C P_{0k}^d + \frac{c_{0k}^C P_{0k}^d}{\left( \hat{E}_{0k}^S - E_{0k}^S \right)^2} \quad (41)$$

$$\hat{E}_{0k}^S = \hat{X}_{0k} - D_{0k} - E_{0k}^L \quad (42)$$

ここで  $\hat{E}_{0k}^S$  は鉱石輸出  $k$  国の (年間) 最大スポット輸出量を示している ( $\hat{E}_{0k}^S \geq E_{0k}^S$ )。モデルでは鉱山の capacity については所与としており、新規鉱山の操業開始などは外生的な条件としているから、短期的に最大限供給可能な鉱石生産量には限界がある。それを (42) 式において、上限鉱石生産量  $\hat{X}_{0k}$  から国内需要向け  $D_{0k}$  と長期契約輸出分  $E_{0k}^L$  の鉱石生産量を除いたものによって定義しておく。長期契約輸出分はモデルにおいて外生値としているが、国内需要向け生産量 (地金国内生産のための鉱石供給量) は内生変数であるから、モデル全体の需給均衡決定と同時に  $\hat{E}_{0k}^S$  が求められることになる。(41) 式は  $k$  国の限界費用を示している。また費用定義式におけるパラメタ  $a_{0k}^C$ 、 $b_{0k}^C$  および  $c_{0k}^C$  はすべて非負値をとり、特に  $c_{0k}^C$  は微小な値であると想定する。 $c_{0k}^C$  についてのこのような仮定のもとでは、鉱石スポット輸出量がその上限値  $\hat{E}_{0k}^S$  とほぼ完全に一致するまで増加しない限り、限界費用 (41) 式の右辺第二項はゼロとみなすことができる。よってこのとき、鉱石スポット輸出量拡大に関わらず限界費用は一定値  $b_{0k}^C P_{0k}^d$  をとると扱うことができる (その上限値に達してはじめて限界費用は  $\infty$  になる)。これは図 3 に示した鉱山の限界費用および平均費用の形状と整合している。

$k$  国のスポット輸出からの利潤を  $\pi_{0k}$  とすると、利潤最大化となる  $k$  国の輸出量はクールノーの仮定のもとで  $k$  国以外の輸出量を所与として次のように示すことができる。

$$\max_{E_{0k}^S} \pi_{0k} (E_{0k}^S, E_{0,-k}^S) = \max_{E_{0k}^S} (R_{0k} - C_{0k}) \quad (43)$$

(43) 式は  $k$  国以外の輸出量  $E_{0,-k}^S$  を所与としたときの、利潤最大化 (MR=MC) となる  $k$  国の鉱石輸出量  $E_{0k}^S$  の関係式を示しており、 $k$  国の反応関数 (reaction function) と呼ばれる。逆需要関

数の近似より求めた具体的な反応関数は、後の 3.5 において示す。鉱石輸出各国はそれぞれ自国以外の輸出量を所与として、それぞれの反応曲線に従って利潤を最大とする輸出量を国際スポット鉱石市場に向けて輸出するものとしよう。

### 3.4.8 国際鉱石市場均衡

以上から、国際スポット鉱石市場における需給均衡条件は、鉱石輸入関数 (34) 式および鉱石輸出反応曲線 (43) 式によって求められる市場集計需給量の均衡を示す以下の式で表される。

$$\sum_{k \in CM} M_{0k}^S = \sum_{k \in CE} E_{0k}^S \quad (44)$$

長契による契約貿易量は集計値として  $\sum_{k \in CM} M_{0k}^L = \sum_{k \in CE} E_{0k}^L$  を満たすように外生的に設定されていることから、(44) 式が国際スポット鉱石市場において成立するとき、各国の鉱石物量バランスを示す (20) 式および (30) 式より国内生産量と国内需要量についても  $\sum_{k \in CM \cup CE} X_{0k} = \sum_{k \in CM \cup CE} D_{0k}$  が満たされることになる。

## 3.5 均衡解導出と近似

均衡解導出のための計算プロセスにおいては、鉱石輸出国の反応曲線導出のために、国際鉱石市場における逆需要曲線の非線形近似をおこなっている。ここではその近似した方程式から、具体的な反応関数を示すことにする。はじめに、次の方程式体系によってモデル構造全体を簡約し、求められる均衡解を整理しておこう。

$$M_{1k}^S = f_1^{MS} (p_0^{\$}, p_1^{\$}) \quad (k \in CM) \quad (45)$$

$$E_{1k}^S = f_1^{ES} (p_0^{\$}, p_1^{\$}) \quad (k \in CM \cup CE) \quad (46)$$

$$M_{0k}^S = f_0^{MS} (p_0^{\$}, p_1^{\$}) \quad (k \in CM) \quad (47)$$

$$E_{0k}^S = f_0^{ES} (E_{0,-k}^S; p_0^{\$}) \quad (k \in CE) \quad (48)$$

$$\sum_{k \in CM} M_{1k}^S (p_0^{\$}, p_1^{\$}) = \sum_{k \in CM \cup CE} E_{1k}^S (p_0^{\$}, p_1^{\$}) \quad (49)$$

$$\sum_{k \in CM} M_{0k}^S (p_0^{\$}, p_1^{\$}) = \sum_{k \in CE} E_{0k}^S (p_0^{\$}) \quad (50)$$

(45) 式から (50) 式はそれぞれ、国際地金市場における輸入関数、地金輸出関数、国際鉱石スポット市場の輸入関数、反応関数、および地金/鉱石二つの国際市場における需給均衡条件を示している。地金/鉱石の輸出入量はすべて、地金/鉱石の国際市場における市場価格 ( $p_1^{\$}$  および  $p_0^{\$}$ ) に依存しており、両市場の需給均衡を前提にして、すべてが同時決定される体系として整理することができる。このように簡約化して表したとき、モデルでの内生変数は  $M_{1k}$ 、 $E_{1k}$ 、 $M_{0k}$ 、 $E_{0k}$ 、 $p_1^{\$}$  および  $p_0^{\$}$  である。モデル体系の均衡解導出プロセスは、その  $3 \times n(CM) + 2 \times n(CE) + 2$  個の内生変数を、上記 (45) 式から (50) 式までの  $3 \times n(CM) + 2 \times n(CE) + 2$  個の連立方程式体系によって解くことを示している。では、国際鉱石市場における総取引量 (輸出入量) を  $E_0^S$  として、市場の逆需要関数を次のように近似することにしよう。

$$p_0^{\$} = f_0(E_0^S) = a + bE_0^S + c(E_0^S)^2 + d(E_0^S)^{-1} + e(E_0^S)^{-2} + f(E_0^S)^{0.5} \quad (51)$$

$$\text{ただし、} E_0^S = \sum_{k \in CM} M_{0k}^S = \sum_{k \in CE} E_{0k}^S$$

(34) 式のとおり、鉍石のスポット輸入関数は陰関数によって表されるので、モデルのプログラムでは各国の輸入需要関数の解を Newton 法によって求め、その国別スポット輸入需要量の市場集計値と市場価格  $p_0^s$  とによって、逆需要関数 (51) 式の重回帰分析からパラメタを求める。もちろん市場需要曲線は地金国内需要など各種の外生変数に依存してシフトするので、条件の変化によってはモデル内部で随時近似をおこなう。実際の近似においては、(51) 式の定式化によって、われわれの設定したパラメタと外生変数のもとで決定係数が 0.999 以上になる近似をおこなうことができている。このように近似したとき、鉍石スポット輸出国の反応関数は次のように求められる。

$$E_{0k}^S = \frac{b_{0k}^C - (a + bE_0^S + c(E_0^S)^2 + d(E_0^S)^{-1} + e(E_0^S)^{-2} + f(E_0^S)^{0.5})}{\{b + 2cE_0^S - d(E_0^S)^{-2} - 2e(E_0^S)^{-3} + 0.5f(E_0^S)^{-0.5}\}(1 + \lambda_{0k})} \quad (52)$$

ただし、 $E_0^S = E_{0k}^S + E_{0,-k}^S$

反応関数は陰関数によって既述されるが、モデルの均衡解導出の計算プロセス全体において (52) 式が満たされ、Cournot-Nash 均衡が達成されるもとの地金/鉍石の国際価格を求めることになる。シミュレーションケースとして地金需要の拡大は、鉍石輸出国の直面する逆需要関数 (36) 式 (およびその近似曲線 (51) 式) を変位させるから、各国の直面する残差需要関数、そして反応関数もまた変位する。また、もし鉍石生産/輸出  $k$  国において何らかの供給障害があったとき、 $k$  国以外の輸出国では所与とされる競争相手国の輸出量  $E_{0,-k}^S$  が変化するため、新しい残差需要の変化に対応した利潤最大化となる輸出量が反応関数から求められ、その均衡点が探索される。Cournot の仮定に基づいて、モデルでの推測的変動は  $\lambda_{0k} = 0$  を基準とする。寡占化の進行にともなう、推測的変動値の変化はシミュレーションとしておこなうことが可能である。

## 4 基準ケース

### 4.1 貿易/生産バランス

モデルの基準ケースを与える基準年次は1999年としている。はじめに各統計資料から、本稿での需給構造モデルの想定に整合するように地金/鉱石に関する貿易および生産物量バランスをとらなければならない。ここでの推計のための基礎となる統計資料は、経済産業省「資源統計年報」、経済産業調査会「鉱業便覧」、貿易統計、U.S. Geological Survey (USGS) Minerals Yearbook、World Bureau of Metal Statistics (WBMS)、International Copper Study Group (ICSG)、資源・素材学会 資源経済部門委員会「鉱物資源データベース」などである<sup>12</sup>。モデルで想定する地金/鉱石の国別輸出入および生産需給の物量バランスが成立するように調整をおこなった上での初期設定値を表3に示している。

表3: 銅地金/鉱石の輸出入・生産需給物量バランス表

	地金				鉱石			
	輸入 $M_{1k}$	輸出 $E_{1k}$	生産 $X_{1k}$	国内需要 $D_{1k}$	輸入 $M_{0k}$	輸出 $E_{0k}$	生産/出荷 $X_{0k}$	国内需要 $D_{0k}$
1.JP	230.1	318.9	1341.5	1252.8	1249.2	0.0	92.3	1341.5
2.CN	433.4	77.4	1174.0	1530.0	654.0	0.0	520.0	1174.0
3.KR	519.0	185.4	450.4	784.0	327.2	0.0	123.2	450.4
4.DE	605.3	168.0	695.7	1133.0	235.5	0.0	460.2	695.7
5.US	915.0	25.2	2132.0	3021.8	163.4	0.0	1968.6	2132.0
6.R1	4043.3	0.0	1222.5	5265.8	815.0	0.0	407.5	1222.5
1.CL	0.0	2547.9	2665.7	117.8	0.0	1531.8	4197.5	2665.7
2.ID	0.0	78.7	126.7	48.0	0.0	485.0	611.7	126.7
3.AU	0.0	254.0	419.0	165.0	0.0	259.2	678.2	419.0
4.CA	0.0	281.0	547.0	266.0	0.0	263.8	810.8	547.0
5.PN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	183.8	183.8	0.0
6.PE	0.0	415.8	433.8	18.0	0.0	48.2	482.0	433.8
7.R2	0.0	2393.8	3233.7	839.9	0.0	672.5	3906.2	3233.7
world	6746.1	6746.1	14442.0	14442.0	3444.3	3444.3	14442.0	14442.0

1999年におけるバランス調整済推計値(単位:地金換算千t)

国内需要には在庫品増加を含み、鉱石国内需要量は地金生産量に等しいと仮定

ここでの物量バランスは以下のような調整をおこなっている。はじめに地金の物量バランスの調整から整理しておきたい。需給構造モデルにおける地金の物量バランスは(4)式にしたがっており、対象国によって二つの調整過程を採用している。第一は地金の国内生産量 $X_{1k}$ 、輸出入量( $E_{1k}$ および $M_{1k}$ )の資料に基づいて差分としての国内需要量 $D_{1k}$ を定義する方法である。生産量はICSG、USGS、WBMSにより、輸出入量は貿易統計、WBMSによって得ており、各種統計間における推計値の乖離についてはこの順序に従って確定している。わが国の「資源統計年報」による電気銅について追記すると、その物量バランスは総供給=期首在庫+生産+輸入、総需要=国内需要+輸出、そして総供給=総需要+期末在庫+過欠補正である。モデルの定義における国内需要量 $D_{1k}$ は上記の(国内需要+(期末在庫-期首在庫)+過欠補正)に相応する。それはここでの調

<sup>12</sup>貿易統計のHS輸入コードのうち、銅鉱石は2603.00-000(銅鉱(精鉱を含む))に対応し、銅地金は7403.11-010~030(陰極銅及びその切断片)、7403.12-010~030(精製銅のワイヤバー)、7403.13-010~030(精製銅のピレット)、7403.19-011~039(精製銅の塊)に対応している。貿易統計のURLは<http://www.mof.go.jp/trade-st/tr-index.html>を参照。また、U.S. Geological Survey(合衆国地質学調査所)は<http://minerals.usgs.gov/>、World Bureau of Metal Statistics(世界金属統計機構)は<http://www.wbms.dircon.co.uk/>、International Copper Study Group(国際銅研究会)は<http://www.icsg.org/>、鉱物資源データベースは<http://www.mineco2.kumst.kyoto-u.ac.jp/ksdb/redb.htm>を参照。

調整過程からの数値と完全に一致している。調整過程の第二は、貿易統計の入手が困難であったかあるいは HS コードの対応が完全に明確ではなかった対象国において WBMS によって輸入量あるいは輸出量のいずれか一方を確定し、生産量と国内需要量とのバランスから他方の差分を定義する方法である。この際国内需要量は ICSG の地金消費量によっているが、貿易統計が入手できる国においては差分の輸出入量の大きさについてはほぼ確認できる。なお、(4) 式に示したように、鉱石輸出国 ( $k \in CE$ ) についてはカナダ (4.CA) のように地金輸入量が若干存在する国においてもゼロであるとした。また、(17) 式に示した地金輸出入量の世界バランスの保持のために、WBMS における世界総量を確定し、RoW (鉱石輸入国は 6.R1 の輸入、鉱石輸出国は 7.R2 の輸出) で残差を定義している。(17) 式と各国の地金物量バランス式から、世界総量では生産量と国内需要量が一致しなくてはならないので、ICSG の地金世界生産量を確定し、差分を RoW (7.R2) の国内需要量で調整している。ICSG の地金消費量の世界集計値は 14089 千 t であり、世界集計生産量 14442 千 t とは 2.5% 程度乖離している。

モデルでは (19) 式のように各国の地金生産量の決定は鉱石国内需要量を意味しており、また鉱石輸入国の (20) 式と輸出国の (30) 式でそれぞれ輸出量と輸入量をゼロであるとしている。よって鉱石輸入国においては貿易統計や WBMS による輸入量の確定によって、一方鉱石輸出国は、輸出量の確定により、鉱石国産量が差分として求められる。よってこの国産量は、国内鉱出、銅スクラップ (リサイクル) 量に加えて在庫からの取り崩し (期首在庫-期末在庫) を含む出荷ベースによって定義されている。チリ (1.CL) でみると、この推計値は 4197.5 千 t であり ICSG での生産量 4382.6 千 t よりも 4.2% 小さく、その乖離は同国における鉱石在庫純増を示すものと解される。また (44) 式の世界貿易バランスと世界生産 (出荷) 量のバランス保持のために RoW (7.R2) で調整をおこなっている。ICSG の世界集計鉱石生産量は 12771 千 t であるから、出荷ベースによる定義 14442 千 t とは 12% 程小さい。これは銅スクラップの定義の問題に加え、モデルで基準年とする 1999 年が 90 年代の銅価格の最安値を記録した年であることから鉱石生産国の生産調整による影響も含まれるであろう。この物量バランスが基準ケースにおける内生変数の初期値および外生変数となる。

## 4.2 名目バランスと関税/国際運賃

地金の名目バランスを示す (5) 式および (5') 式、鉱石の名目バランス (21) 式および (32) 式を満たすように各国通貨評価による単価を求めたものが表 4 である。この単価は地金/鉱石の国際価格と、関税率および国際運賃 (含保険料) との整合を持たなければならない。

わが国での銅地金に対する関税率は 1999 年より 3% であり、米国では USGS[1] によると 1% となっている。また中国の銅地金輸入に対する普通税率は 11% であるが、関税互恵協議を取り決めている国からの輸入では 2% の最低税率が課される。WBMS による中国の地金輸入相手国をみると 51.1% が RoW、その次にチリ 17.8%、日本 15.1%、フィリピン 13.1% の順である。ここでは実効関税率として 4% を仮定しておく。その他の国における関税率は設定値である。

基準年となる 1999 年における LME の国際価格は 1572.86\$/t であり、わが国の地金輸入価格および国内建値との関係から逆算して国際運賃 (含保険料) の推計値を求めた。他国については設定値である。鉱石の国際価格については、1999 年の TC/RC の国際価格を地金の 20% として 314.57\$/t に設定し、その差分として 1258.29\$/t が鉱石の国際価格とした。

表 4: 銅地金/鉱石の単価および関税率/国際運賃

鉱石輸入国 ( $k \in CM$ )		JP	CN	KR	DE	US	R1	
地金輸入単価	$P_{1k}^m$	195.1	14315.8	2036.1	2866.5	1629.0	1681.8	
地金販売価格	$P_{1k}^d$	217.1	15930.1	2265.8	3189.8	1673.6	1727.9	
地金需要価格	$P_{1k}^c$	213.1	15472.8	2113.8	3017.1	1660.1	1692.5	
TC/RC 機費用 (輸入)	$P_{\phi k}^{mS}$	39.5	3005.6	411.9	567.9	322.7	351.6	
TC/RC 機費用 (輸出)	$P_{\phi k}^{sS}$	33.8	2455.0	352.6	539.5	306.6	302.6	
鉱石スポット輸入価格	$P_{0k}^{mS}$	155.6	11310.1	1624.3	2298.7	1306.3	1330.3	
鉱石長契輸入価格	$P_{0k}^{mL}$	155.6	11310.1	1624.3	2298.7	1306.3	1330.3	
鉱石平均輸入価格	$P_{0k}^m$	155.6	11310.1	1624.3	2298.7	1306.3	1330.3	
鉱石販売価格	$P_{0k}^d$	163.4	11875.6	1705.5	2413.6	1371.6	1396.8	
鉱石需要価格	$P_{0k}^c$	156.2	11560.6	1646.5	2374.7	1366.6	1352.5	
地金関税率	$\tau_k$	0.030	0.040	0.030	0.010	0.010	0.030	
地金国際運賃	$\gamma_{1k}$	90.0	90.0	90.0	40.0	40.0	60.0	
鉱石国際運賃	$\gamma_{0k}$	108.0	108.0	108.0	48.0	48.0	72.0	
為替レート	$e_k$	0.114	8.278	1.189	1.760	1.000	1.000	
	各国通貨単位	千 Yen	Yuan	千 Won	Mark	\$	\$	
鉱石輸出国 ( $k \in CE$ )		CL	ID	AU	CA	PN	PE	R2
地金販売価格	$P_{1k}^d$	769.7	11805.0	2329.4	2262.5	1502.9	5118.5	1512.9
TC/RC 機費用 (輸出)	$P_{\phi k}^{sS}$	153.9	2361.0	465.9	452.5	300.6	1023.7	302.6
鉱石販売価格	$P_{0k}^d$	603.6	9224.0	1820.1	1780.3	1174.3	4013.6	1186.3
地金国際運賃率	$\gamma_{1k}$	60.0	70.0	70.0	50.0	70.0	60.0	60.0
鉱石国際運賃率	$\gamma_{0k}$	72.0	84.0	84.0	60.0	84.0	72.0	72.0
為替レート	$e_k$	0.509	7.855	1.550	1.486	1.000	3.383	1.000
	各国通貨単位	千 Peso	千 Rupiah	A\$	C\$	\$	Sol	\$

単価はすべて地金換算  $t$  あたり、為替レートは  $1\$$  あたり、国際運賃・保険料率の単位は各国共通に  $\$/t$

### 4.3 長期契約

鉱石輸出入に関する長期契約分については、表 5 のように設定している。日本鉱業協会の調べによると、1999 年のわが国の銅鉱石輸入総量 1249.2 (地金換算千  $t$ ) のうち、自主開発 404.5、融資買鉱 434.6、単純買鉱 410.1 である。単純買鉱のうち長期契約分は 276.8 となっており、自主開発、融資買鉱を加算するとわが国の総輸入の 89.3% が長期契約 (契約期間 1 年以上) によって輸入されている。わが国の長契率を 89.3% とすると、地金のスポット国産率  $w_{1k}^{dS}$  でみたときマイナス値をとる。これは長契鉱石輸入量が地金国内需要向けを 100% カバーし、地金輸出量に対する原料調達まで長契によっていることを示している。モデルでは基準値として 80% に設定した。その他の鉱石輸入国について、同様な長期契約率を得ることは困難であったため、表 5 のように設定した。なお、米国では鉱石国内需要の 92.3% を国内生産に依存していることから、鉱石輸入量は少ない。WBMS によると 2000 年の鉱石輸入量は僅か 300t である。よって長期契約率もほぼ無いものとして、ここでは 1% と想定している。

一方、鉱石輸出国側からみると、長期契約総量としては同量が鉱石輸出国に配分されていなければならない。詳細な情報を得ることが困難であったため、ここでも想定値を設定している<sup>13</sup>。最終的なバランス調整国は R2 (鉱石輸出国の RoW) である。

<sup>13</sup> わが国の長期契約の相手国をみると、自主開発の 87%、融資買鉱の 33% がチリである (資源エネルギー庁 [5])。世界最大の銅鉱山 Escondida (CL) は三菱グループが 10% の権益を有しており、また世界最大の銅生産会社である CODELCO (CL) でも大部分は 1 年前に結ばれた契約に従っている (金属鉱業事業団 [3]99-28 号) などから、チリの長期契約輸出率を他国よりも高めに設定している。

表 5: 銅鉱石の輸出入における長期契約量の想定値

	鉱石輸入国				鉱石輸出国				
	総輸入	長期契約	スポット	長契率	総輸出	長期契約	スポット	長契率	
1.JP	1249.2	999.4	249.8	0.80	1.CL	1531.8	919.1	612.7	0.60
2.CN	654.0	98.1	555.9	0.15	2.ID	485.0	145.5	339.5	0.30
3.KR	327.2	49.1	278.1	0.15	3.AU	259.2	77.8	181.4	0.30
4.DE	235.5	70.7	164.9	0.30	4.CA	263.8	52.8	211.0	0.20
5.US	163.4	1.6	161.8	0.01	5.PN	183.8	27.6	156.2	0.15
6.R1	815.0	122.3	692.8	0.15	6.PE	48.2	0.0	48.2	0.00
					7.R2	672.5	118.4	554.1	0.18
world	3444.3	1341.1	2103.2	0.389	world	3444.3	1341.1	2103.2	0.389

1999 年における推計および想定値 (単位: 地金換算千 t)

#### 4.4 パラメタ

モデルの各種パラメタに関しては、ここでは表 6 のように各国に想定値を与えるものとする。鉱石生産/輸出国の短期限界費用に関しては、後の基準ケースにおける鉱石の逆需要関数の描写と、実際のスポット輸出量との対応で基準年バランスを満たすように導出したものである。また鉱石輸出国の逆需要関数における地金/鉱石価格の期待連動率  $\xi$  については 0.7 として設定している。

表 6: 各種パラメタ設定値

鉱石輸入国 ( $k \in CM$ )		JP	CN	KR	DE	US	R1	
地金国産率関数	$\alpha_{1k}$	9.881	0.434	2.404	1.324	0.435	3.675	
地金代替弾性	$\beta_{1k}$	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	
地金輸出関数	$\bar{E}_{1k}$	318.9	77.4	185.4	168.0	25.2	0.0	
地金輸出価格弾性	$\beta_{1k}^e$	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	
国内鉱基準量	$\bar{X}_{0k}$	92.3	520.0	123.2	460.2	1968.6	407.5	
国内鉱価格弾性	$\beta_{0k}$	0.100	0.200	0.100	0.100	0.200	0.200	
エスカレーション条項	$\theta_{\phi k}$	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	
	$\zeta_{\phi k}^U$	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	
	$\zeta_{\phi k}^D$	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	
鉱石輸出国 ( $k \in CE$ )		CL	ID	AU	CA	PN	PE	R2
地金輸出関数	$E_{1k}$	2547.9	78.7	254.0	281.0	0.0	415.8	2393.8
地金輸出価格弾性	$\beta_{1k}^e$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
鉱石短期限界費用	$b_{0k}^C$	0.717	0.841	0.913	0.899	0.924	0.973	0.743

#### 4.5 基準ケース

以上の初期値、外生変数およびパラメタに基づいて、基準ケース (Business as Usual : BaU) を導出する。初期の地金国内需要量のもとで、(34) 式に示された鉱石輸入各国のスポット輸入需要曲線を示したものが図 4 である。鉱石の国際価格の上昇に伴って、地金の国際価格が (35) 式の期待連動率  $\xi = 0.7$  で上昇し、その差分である各国の TC/RC の国内機会費用が減少するから国産地金から輸入地金へと代替が促進され、また一方で地金輸出も縮小される。それは地金の国内生産量の減少を意味するから、(長契鉱石輸入量一定のもとで) 鉱石の原料調達におけるスポット買いも減少する。また鉱石自体の生産では、(若干ながら価格弾性の存在によって) 銅スクラップの投入を含む鉱石国産率は上昇し、スポット輸入鉱石に対する依存度は減少する。よって全体として、鉱

石価格の上昇はスポット輸入鉱石の減少をもたらすことになる。それは鉱石輸出国からみた鉱石輸入各国のスポット輸入需要スケジュールを示している。また曲線の形状に示されるように、鉱石市場価格の上昇は、地金の市況に依存しているが、地金市場価格が上昇する余地は限られていることから、(TC/RCの減少から)急速にスポット買いのインセンティブは失われる。なお基準価格指数は1.0であるから、各国における価格(縦軸)1.0のときの輸入量は、表5における基準年のスポット輸入量(初期値)に対応している。

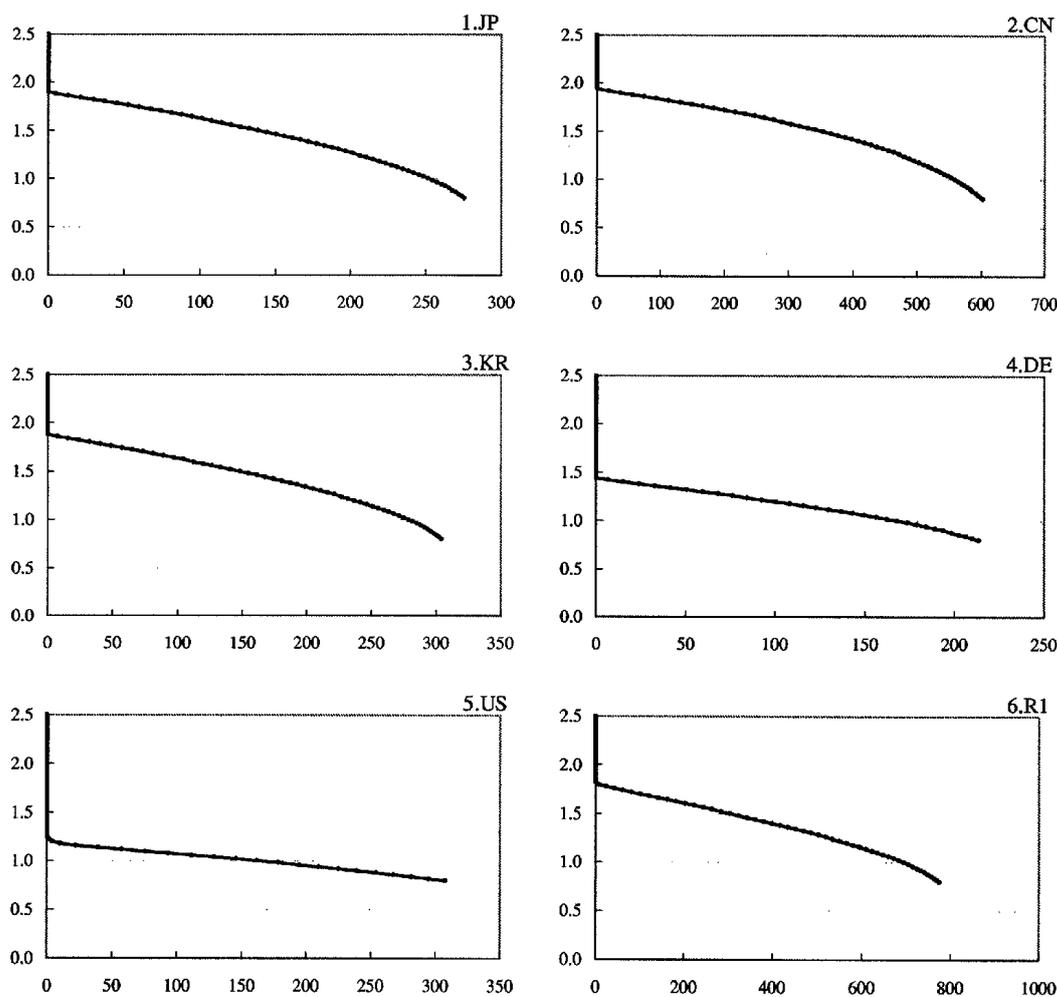


図 4: 鉱石スポット輸入需要曲線

鉱石輸入各国のスポット輸入需要曲線の水平和は、国際鉱石市場全体のスポット輸入需要曲線を与える。図5ではスポット市場輸入需要曲線と、その非線形近似によるパラメタより描いた限界収入(MR)曲線を示している。表5の基準年初期値のように、スポット輸出入総量は210.3万tである。この図に基づいて、鉱石輸出国のうちチリ(1.CL)についてその利潤最大化と輸出量の決定をみることにしよう。輸出総量210.3万tのうちチリ以外の鉱石輸出国にスポット輸出量は149.1万tであり、チリは $E_{0,-k}^S(k \in CL)$ がちょうど149.1万tであると予想しよう。それは図5の垂直

線 A である。Cournot の仮定のもとでチリの直面する残差需要曲線は、垂直線 A から右側にある市場需要曲線に他ならない。その残差需要曲線から限界収入曲線を求め、それとチリの限界費用曲線の交点 ( $E_c$ ) が  $MR=MC$  となるチリの利潤最大化をもたらす輸出量 (61.2 万 t) である。同様な利潤最大化がチリ以外の鉱石輸出国についてもおこなわれ、それぞれの予想量が現実と一致して Cournot-Nash 均衡が達成しているとき、チリ以外の輸出量 149.1 万 t とチリの最適輸出量 61.2 万 t の合計 210.3 万 t が市場のスポット輸出量を与える。基準ケースでは輸出各国における初期値のスポット輸出量をこの均衡値として解釈することで表 6 にある限界費用を逆算している。

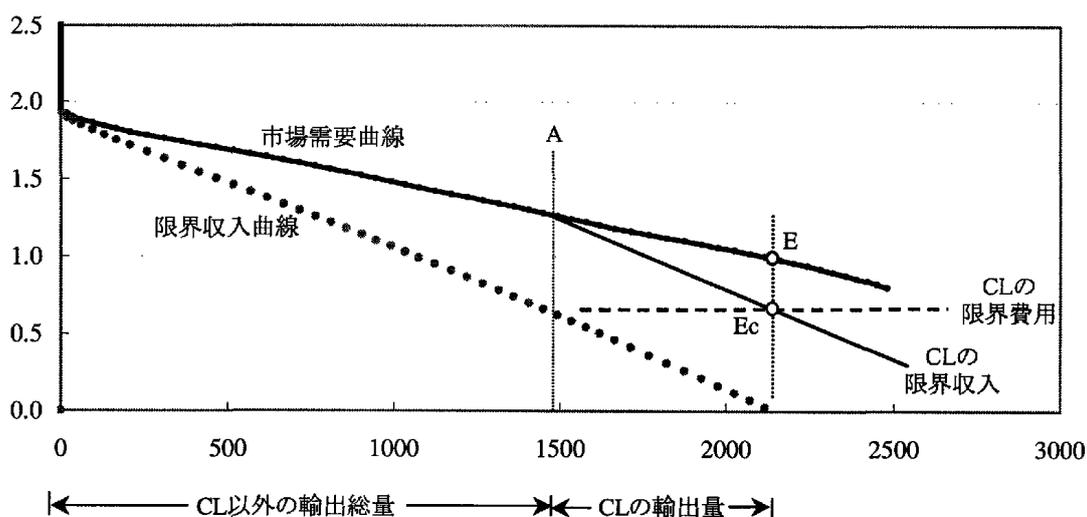


図 5: 鉱石スポット市場輸入需要と残差需要

垂直線 A を左右に動かしたとき、そのもとでチリの利潤最大化をもたらすスポット輸出量は変動することになる。これはチリの反応曲線を形成し、Cournot-Nash 均衡は反応曲線の交点として認識される。モデルでは 3.5 に述べたようにこれを地金/鉱石の国際価格とともに同時決定する。実際の基準ケースにおける均衡解導出では、外生値の設定のもとで基準年時の生産/需要および輸出/輸入に関する各国の均衡取引量と均衡価格を復元することが確認される。

#### 4.6 トータルテスト

本稿でのモデルはパラメタに関して想定がされているのみであり、その十分な検証はおこなわれていない。モデル全体の推計精度を確認するために、ここでは 2000 年における観察値によっておおまかではあるがトータルテストをおこなっておきたい。外生変数は各国の地金国内需要であり、また鉱石輸出国の現実の鉱石生産量を供給上限とする。ただし資料は ICSG にのみよっており、1999 年での表 3 の調整された物量バランスより乖離があるために、ICSG のみの 1999/2000 年の成長率を与えてシミュレーションをおこなうことにしよう。シミュレーションの外生設定値は表 7 のとおりである。ただし ICSG では世界集計値の成長率でみると、それぞれ地金生産量 2.37%、消費量 8.44%、鉱石生産量 3.70% の増加を示している。外生的な条件を同一にする厳密なテストは困

難であるが、地金需要国の国内需要および鉱石輸出国の鉱石生産量、各国の成長率は ICSG に従い、RoW では (R1 および R2) とともに世界地金生産量の伸び 2.37% で同一とした<sup>14</sup>。

表 7: トータルテストの想定値：1999/2000 年成長率 (%)

	JP	CN	KR	DE	US	R1	
地金国内需要	4.13	22.76	9.82	15.60	0.82	2.37	
	CL	ID	AU	CA	PN	PE	R2
鉱石生産量	5.03	27.93	15.30	3.29	3.30	3.34	2.37

このような条件を想定し、モデルでのシミュレーション結果は国際地金価格 13.9%、国際鉱石価格 16.6% の上昇を示している。一方、当該期間の LME での地金価格は 1572.9\$/t から 1813.5\$/t へと 15.3% 上昇している。また鉱石の国際価格を得ることは困難であるが、日本銀行「輸出入物価指数」の銅鉱の輸入価格指数 (IPI) では円ベースで 17.0%、東京市場における月中平均為替レート (日銀) によって変換したドルベースで 22.8% の上昇を示している<sup>15</sup>。ここでのシミュレーションは外生値変化の設定として、表 7 に示した国別地金国内需要量の変化と、鉱石生産量の上限のみを考慮したものであるが、ほぼ現実に近似した結果を得られたと考えられる。

<sup>14</sup>ただし ICSG による 1999/2000 年の米国では、地金消費量は 299.5 万 t から 301.9 万 t へと微増 (2.4 万 t) を示しているのに対し、地金生産量は 213.2 万 t から 179.2 万 t へと大幅に (34.0 万 t) 減少している。同期間の WBMS による米国の地金輸出量はむしろ増加 (7.1 万 t) し、また輸入量は 0.7 万 t の増加に留まっているから大幅に在庫を取り崩したようなかたちになっている。一方で、USGS[1] では米国内の LME 指定倉庫から 20.4 万 t の在庫の減少が確認される。ここではこの 20.4 万 t のみ地金備蓄  $Z_{1k}$  の売却として外生的にマイナス値を設定した。またその他の変数、各国の為替レート、製錬コスト指数、長契率などについてはシミュレーションにおける外生値として調整をおこなっていない。

<sup>15</sup>貿易統計による輸入価格指数 (貿易価格指数) では銅鉱石の価格上昇率は同期間で 4.1% (円ベース) に過ぎない。IPI における輸入価格指数は、代表的銘柄 (銅鉱では含有量 40%チリ産、含有量 40%カナダ産、含有量 28%カナダ産) を抽出調査することで輸入商品の品質差異を除去することがおこなわれている。貿易価格指数は通関ベースの輸入金額を輸入数量で除した平均単価であり、ここでの比較の意味では IPI の方が適切であると考えられる。

## 5 シミュレーション

### 5.1 鉱石供給障害

鉱石生産/輸出の供給障害についてシミュレーションをおこなう。ここでの対象国はチリ（1.CL）であり、20万t（年間鉱石生産量の4.8%）および40万t（同9.5%）の供給障害のもたらす影響を想定しよう。前者をSim-1a、後者をSim-1bとし、ともに競争相手国の鉱石生産量については増産制約を一律に2%（BaUでの鉱石生産量の2%増まで供給可能）と設定しておく<sup>16</sup>。またSim-1aと同等の供給障害を持ちながら、チリ以外の鉱石生産国の増産幅をゼロとしたケースがSim-1cである。なお、長期契約による鉱石輸出については優先的に配分されるものとしている。

それぞれのケースにおける主要内生変数の変化を整理したものが表8である。チリの供給障害は、直接的にスポット市場におけるチリの輸出供給量を大幅に減少させる。Sim-1aの20万tの供給障害のケースでは、チリの鉱石生産量4.8%の減少は同国のスポット輸出量でみたとき30.8%の輸出減であり、Sim-1bの40万t障害ケースではスポット輸出量は56.6%もの低下を意味する。それはチリ以外の競争相手国にとって $E_{0,-k}^S$ の減少を意味するから、それぞれの利潤最大化のもと鉱石生産/輸出を増加させるインセンティブを持つ。これは鉱石輸出国におけるそれぞれの反応曲線に沿った利潤最大化行動である。（若干の例外国を除いて）三つのすべてのケースで、鉱石生産量は増産制約とする上限に張り付いており、鉱石のスポット市場への輸出増はSim-1aのときインドネシアで3.7%、オーストラリアで8.1%、カナダで8.3%、Sim-1bではそれぞれ4.1%、10.4%、10.5%である。競争相手国の自らのインセンティブによる輸出増は明らかにチリの供給障害による鉱石市場価格上昇を緩和させる効果をもっている。しかしながら、そのようなバッファとなる競争相手国の増産効果を含みながらも、総合的に鉱石市場価格はSim-1aで15.6%、Sim-1bでは72.6%もの上昇を示している。地金の市場価格でみると、同じく12.4%（1767\$/t）および57.7%（2480\$/t）の価格高騰である。

地金の生産および輸出入に関する各国の行動をみるために、TC/RCについてその影響を考察しよう。供給障害によって鉱石市場がタイトになったことを受けて、TC/RCの国際価格はSim-1aで0.4%、Sim-1bで2.0%の低下を示している。これ自体は地金生産の機会費用（収益）の低下を意味する。しかしながらモデルの方程式体系、3.3.3での地金スポット国産率決定に対するTC/RCの機会費用 $p_{\phi k}^{mS}$ 、および3.3.4での地金輸出量決定に対するTC/RCの機会費用 $p_{\phi k}^{eS}$ のそれぞれの定義に示したように、各国の輸出入に関する意思決定は国際価格としてのTC/RCに依存するものの、直接的には各国個別に異なり得るその機会費用に依存している。表9は、各シミュレーションケースにおいて求められた機会費用としてのTC/RC（ $p_{\phi k}^{mS}$  および  $p_{\phi k}^{eS}$ ）のBaUからの変動率を示している。

表9に示すように、Sim-1a（あるいはSim-1b）ではTC/RCの国際価格は0.44%（同2.01%）

<sup>16</sup>ここでのシミュレーションでは、何らかの外生的条件の変化（鉱石供給障害、地金需要拡大など）に対して、短期的に調整可能な鉱石生産/出荷の増加量における制約を、「増産制約」と呼んでいる。モデルでは新規開山は短期的に不可能であるとの仮定を持つから、増産の可能性は既存鉱山の操業日数（時間）にのみ依存していると考えられる。いま鉱山の1ヶ月あたりの平均操業日数を20日と仮定した場合、操業日1日の増加は5%の増産を意味する。労働、資本、エネルギーなど様々な投入要素の制約を鑑み、このような月産5%の増産が可能であるとしたとき、年間ベースで2%の増産を実現するためには最低でも5ヶ月が必要になる。外生的なショックによって齎される（想定）鉱石需要曲線および反応曲線の変位に対して、その認識および増産の意思決定、生産投入要素の確保などに要する準備期間が7ヶ月以下であるとすれば、ほぼ5ヶ月分の増産は可能である。ここではひとまず年間増産制約の基準として2%を設定している。

ただし以下の各シミュレーションでみるように、増産制約はゼロ（増産の余地無し）から十分に対応可能な想定まで、必要に応じて幅を持たせて解釈をおこなっている。増産制約は、文字通り鉱山の技術的制約と考えることもできるし、また見方を変えると生産調整期間、つまりモデルにおける時間的視野を与えるものであると解することもできる。時間的視野として解釈すれば、外生的ショックに対して、増産の余地が無いケースは極めて短期的な影響をシミュレーションしていることに、増産が十分に対応可能なケースは（新規開山すら含む）中長期的な影響に相応するということもできよう。いずれにせよ、それは分析者の問題設定と分析目的に対応して設定されるべき変数である。

表 8: チリの鉱石供給障害シミュレーション

	Sim-1a			Sim-1b			Sim-1c		
		dif	%		dif	%		dif	%
鉱石生産:CL	3997.4	-200.2	-4.8	3797.5	-400.0	-9.5	3997.5	-200.0	-4.8
鉱石スポット輸出:CL	424.3	-188.4	-30.8	266.1	-346.6	-56.6	440.4	-172.3	-28.1
地金国際価格	1767.4	194.6	12.4	2480.3	907.4	57.7	2038.3	465.4	29.6
鉱石国際価格	1454.3	196.0	15.6	2172.0	913.7	72.6	1727.0	468.7	37.3
TC/RC	313.2	-1.4	-0.4	308.2	-6.3	-2.0	311.3	-3.3	-1.0
地金世界貿易	6716.2	-29.9	-0.4	6607.4	-138.7	-2.1	6674.6	-71.5	-1.1
地金生産:JP	1340.7	-0.8	-0.1	1338.0	-3.5	-0.3	1339.6	-1.9	-0.1
地金生産:CN	1181.6	7.6	0.6	1207.8	33.7	2.9	1191.8	17.8	1.5
地金生産:KR	452.6	2.2	0.5	460.8	10.4	2.3	455.8	5.4	1.2
地金生産:DE	695.8	0.1	0.0	696.2	0.5	0.1	695.9	0.2	0.0
地金生産:US	2133.5	1.5	0.1	2139.6	7.6	0.4	2135.8	3.8	0.2
地金生産:R1	1238.9	16.4	1.3	1299.2	76.7	6.3	1261.8	39.3	3.2
地金生産:CL	2654.0	-11.7	-0.4	2612.3	-53.4	-2.0	2638.0	-27.7	-1.0
地金生産:ID	126.3	-0.4	-0.3	125.0	-1.7	-1.3	125.8	-0.9	-0.7
地金生産:AU	417.8	-1.2	-0.3	413.6	-5.4	-1.3	416.2	-2.8	-0.7
地金生産:CA	545.7	-1.3	-0.2	541.2	-5.8	-1.1	544.0	-3.0	-0.6
地金生産:PN	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
地金生産:PE	431.9	-1.9	-0.4	425.1	-8.7	-2.0	429.3	-4.5	-1.0
地金生産:R2	3222.7	-11.0	-0.3	3183.5	-50.1	-1.6	3207.7	-26.0	-0.8
鉱石世界貿易	3381.6	-62.7	-1.8	3303.1	-141.2	-4.1	3309.0	-135.3	-3.9
鉱石スポット貿易	2040.5	-62.7	-3.0	1962.0	-141.2	-6.7	1967.9	-135.3	-6.4
鉱石生産:ID	623.9	12.2	2.0	623.9	12.2	2.0	611.7	0.0	0.0
鉱石生産:AU	691.8	13.6	2.0	691.8	13.6	2.0	678.2	0.0	0.0
鉱石生産:CA	827.0	16.2	2.0	827.0	16.2	2.0	810.8	0.0	0.0
鉱石生産:PN	187.5	3.7	2.0	187.5	3.7	2.0	183.8	0.0	0.0
鉱石生産:PE	491.6	9.6	2.0	491.7	9.7	2.0	482.0	0.0	0.0
鉱石生産:R2	3961.0	54.8	1.4	3984.4	78.2	2.0	3906.1	-0.1	0.0
スポット輸出:ID	352.1	12.6	3.7	353.4	13.9	4.1	340.4	0.9	0.3
スポット輸出:AU	196.2	14.7	8.1	200.4	18.9	10.4	184.2	2.8	1.5
スポット輸出:CA	228.5	17.5	8.3	233.1	22.1	10.5	214.1	3.0	1.4
スポット輸出:PN	159.9	3.7	2.4	159.9	3.7	2.4	156.2	0.0	0.0
スポット輸出:PE	59.7	11.5	23.9	66.6	18.4	38.1	52.7	4.5	9.3
スポット輸出:R2	619.9	65.8	11.9	682.5	128.4	23.2	580.0	25.9	4.7

dif は BaU からの差分、% は BaU からの乖離率を示す。単位：地金/鉱石の国際価格は\$/t、それ以外は千 t

の低下であるのに対して、地金輸出に対する TC/RC 機会費用  $p_{\phi k}^{eS}$  では各国でほぼ同等な 0.45-0.47% (同 2.07-2.14%) の低下を示し、鉱石輸入国 ( $k \in CM$ ) の地金スポット国産率に対する機会費用  $p_{\phi k}^{mS}$  では逆に、日本および韓国 1.28% (同 6.03%)、中国 1.76% (同 8.25%)、米国 0.17% (同 0.85%) と上昇している。この地金輸出量と地金輸入量の決定に対する機会費用の非対称性は、鉱石輸入国における輸入地金に賦課される関税の存在に起因している。シミュレーションにおけるチリの鉱石供給障害に端を発する地金国際価格の上昇は、地金輸入各国の国際運賃・保険料を含む CIF 輸入価格、それに関税が賦課された陸揚げ価格の上昇を意味する。関税は一定率 (表 4 のようにわが国では 3%、米国 1% など) で課されるから、関税額は国際地金価格の上昇に伴って増加することになる。これは各国政府の税収増を意味するが、各国の製錬会社からみたときには国内地金販売価格としての製錬サービス機会収益の上昇である。よって地金国産率を高める (輸入地金から国産地金への代替を促進する) インセンティブを持つ。この非対称性から鉱石輸出国では地金輸出/生産量を減少させ、鉱石輸入国でも同様に地金輸出量を減少させる (それに伴って地金生産量を減少させる) もの、一方では地金輸入量を減らして国産量を増加させることになる。

表 9: 機会費用としての TC/RC 変動率 (%) : 供給障害シミュレーション

鉱石輸入国 ( $k \in CM$ )		JP	CN	KR	DE	US	R1	
$p_{\phi k}^{mS}$	Sim-1a	1.28	1.76	1.28	0.17	0.17	1.26	
	Sim-1b	6.03	8.25	6.03	0.85	0.85	5.94	
	Sim-1c	3.08	4.22	3.08	0.42	0.42	3.04	
$p_{\phi k}^{eS}$	Sim-1a	-0.47	-0.47	-0.47	-0.45	-0.45	-0.46	
	Sim-1b	-2.14	-2.14	-2.14	-2.07	-2.07	-2.09	
	Sim-1c	-1.11	-1.11	-1.11	-1.07	-1.07	-1.09	
鉱石輸出国 ( $k \in CE$ )		CL	ID	AU	CA	PN	PE	R2
$p_{\phi k}^{eS}$	Sim-1a	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46
	Sim-1b	-2.09	-2.11	-2.11	-2.08	-2.11	-2.09	-2.09
	Sim-1c	-1.09	-1.09	-1.09	-1.08	-1.09	-1.09	-1.09

TC/RC の国際価格は、Sim-1a=-0.44%、Sim-1b=-2.01%、Sim-1c=-1.05%

それを受けて表 8 にみるように、鉱石輸出国では地金生産量の低下、鉱石輸入国では地金生産量の上昇という対照的な結果になっている<sup>17</sup>。鉱石輸出各国では地金生産を Sim-1a で 0.2-0.4%、Sim-1b で 1.1-2.0% 低下させ、その鉱石を国際鉱石市場へのスポット輸出増に充当していると言えることができる。たとえば Sim-1b のケースではカナダの鉱石生産量は増産制約により 1.62 万 t に留まるものの、地金生産を 0.58 万 t 低下させ、合わせて 2.21 万 t のスポット輸出市場への供給を増加させている。これは鉱石供給障害による直接的な国際鉱石価格の上昇に対して、鉱石輸出各国が鉱石スポット輸出における機会収益の増加に反応した結果であり、地金/鉱石の二つの国際市場の視野からみれば、両市場間での裁定的な働きをおこなっていると解することができる。

また鉱石輸入国のうち、日本のみが地金生産量を減少させていることに留意されたい。これはわが国の鉱石輸入がそのほとんどを長期契約に依存していることに起因しており、スポット国産率  $w_{1k}^{dS}$  (その概念と定義は 3.3.3 参照) の上昇は輸入地金から国産地金への代替を量的には僅かに促進するのみであり、むしろ地金輸出の減少量がそれを上回った結果である。長契による鉱石輸入量の確保は、わが国における鉱石の安定供給には寄与しながらも、地金の国内生産における機会収益としての TC/RC の上昇には弾力的に対応する余地が (少なくとも短期的には) 制限されていることを意味している。

次に Sim-1c へと議論を移そう。同じ 20 万 t の供給障害に対して、チリ以外の鉱石輸出国の増産制約を 2% とする Sim-1a と増産の余地は無いとする Sim-1c では、地金価格で 12.4% から 29.6% へ、鉱石価格で 15.6% から 37.3% へ上昇幅を大きくしている。増産が困難なときには僅かに 20 万 t の供給障害であっても、地金/鉱石の市場価格へ大きな影響をもたらしていることを示している。この供給障害による価格高騰と増産制約との関連については、後に図 7 において再度検討することにする。

競争相手国の増産制約を 2% としたままで、チリの供給障害率を高めたときの、地金/鉱石の国際価格への影響を図示したものが図 6 である。図における供給障害 4.8% または 9.5% のときが、それぞれ Sim-1a と Sim-1b に相応する。チリの鉱石供給障害が 9.3% 程度になったあたりで鉱石の国際価格と地金価格との乖離が進み (それは TC/RC の大幅な低下を意味する)、地金と鉱石の国際市場価格を急速に高めることになっている。これは、鉱石輸出国の増産制約 2% の仮定のもとで短期

<sup>17</sup>また各国の地金生産量の世界総量は、ここでは外生的に不変である地金国内需要量の世界総量と一致しなければならない (在庫および備蓄変動は外生である)。よって、ある国の減産は別の国の増産によって補填されなければ需給均衡を達成することはできない。このことは、本稿でのすべてのシミュレーションケースにおいて、地金需要の世界総量を所与とした場合には、需給均衡の実現のために TC/RC の国際価格の変動は結果として常に (地金輸入/輸出における機会費用の非対称性が寛される範囲に) 限られざるを得ないことを意味している。それは外生的なショックが如何なるものであれ、国際地金価格と国際鉱石価格の連動性 (地金/鉱石の国際市場の裁定) を実現するものであると言い換えることもできる。

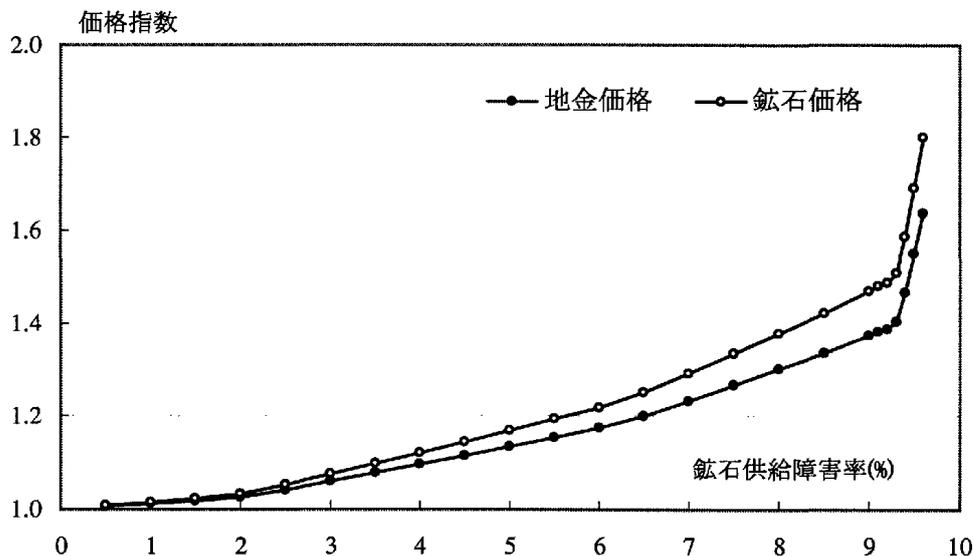


図 6: チリの鉍石供給障害に対する価格指数の変化：増産制約 2%

的に供給増の余地は無く、価格弾性の低い鉍石輸入国での銅スクラップなどの国内生産/回収量の増加を実現するために鉍石価格が高騰しなければならないことによると考えられる。不連続的な価格高騰が供給障害のどのレベルで起こり得るかは、モデルにおけるパラメタ設定値と市場参加国数などによって影響されるから断定的なことを言うことは出来ないが、ある国の供給障害の規模が、他の鉍石輸出国の増産制約とも関連して、必ずしも連続的な価格高騰を齎すのみではないことを指摘することはできるであろう。もし旺盛な地金需要が存在し、故に全ての鉍石輸出国がその生産可能量の上限まで操業をおこなっているような市況のもとで考えるならば、そのときに発生する大規模な供給障害は、短期的には本稿でのシミュレーションにおける価格高騰を遥かに凌ぐ価格暴騰を誘引する可能性は否定できない。

また、チリの鉍石供給障害を Sim-1a および Sim-1c と同等の 20 万 t と固定して、競争相手国の増産制約についてもっとも厳しい 0% (増産の余地無し) から徐々に高めた (制約を緩和した) ときの地金/鉍石の価格指数の推移が図 7 である (ただし増産制約については各国一律に与えている)。図における増産制約 0% のときは Sim-1c のケースであり、同 2% のときは Sim-1a に相応する。チリの鉍石供給障害があったとき、他の鉍石輸出国が十分に増産する余地があれば、地金/鉍石ともに上昇幅は収束に向かっていくことがわかる。シミュレーション結果ではチリ以外の輸出国で 16% 以上の増産が許容されるのであれば、完全に価格上昇は一定値をとっている (それ以上の増産制約の緩和は均衡解を変えない)。そのとき地金の価格上昇率は 5.2%、鉍石の価格上昇率は 6.4% である。1990 年代の最安値を記録した 1999 年を基準年とする限り、表 7 に示した 1999/2000 年の鉍石生産量の実際の成長率でも、インドネシアは 27.9%、オーストラリアは 15.3% の伸びを記録しており、国間で跛行性はあるもののこの程度のスポット輸出の増加が実際に可能である局面もあるだろう。実際の観察値は新規開山による生産増加を含み得るが、それも合わせて増産の余地があるときには、チリの 20 万 t の供給障害は 5% 程度の若干の価格上昇をもたらすのみで、む

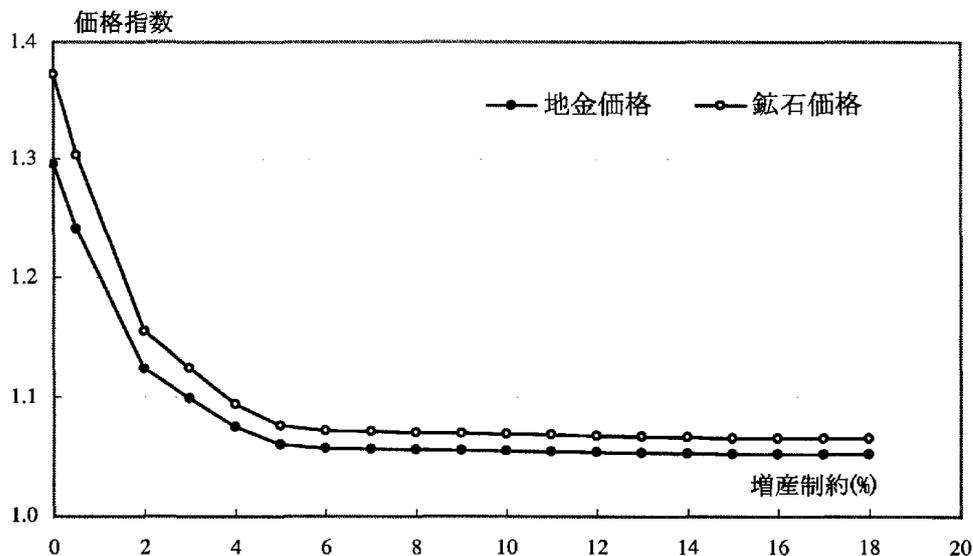


図 7: 増産制約の緩和に対する価格指数の変化：チリの鉱石供給障害 20 万 t

しる輸出量を増加させた競争相手国の利潤を取引量と価格の両面から高める結果になるといえる。しかしながら 20 万 t という鉱石供給障害量は、モデルの基準シナリオにおける世界鉱石生産量の僅か 1.38%、同年次の ICSG による世界鉱石生産量の 1.56% に過ぎない規模のものであるから、他の鉱石生産国が十分に増産に対応できることを仮定しても 5.2% の地金価格上昇は大きな影響であると評価することもできる。

一方、もし鉱石の市況がタイトで増産の余地があまり無いような状況のもとでは、チリの鉱石供給障害が仮に僅かに 5% (20 万 t) 程度であっても、図 7 に従って地金/鉱石の国際価格を 20-30% 程度高めることになるであろう。これは読み替えると、例えば 1 週間や 1 ヶ月など生産調整が困難である極めて短期的な影響を示すものと解することもできる。このような時間的視野に置き換えて考察をおこなえば、図 7 の横軸に示される増産制約の緩和は生産調整期間の増加を意味しており、この生産調整期間の時間軸に伴って、価格高騰への影響は収束に向かうものと考えられる。

ここで、供給障害シミュレーションによる価格高騰を評価するために、一つの概念を導入したい。それは鉱石供給障害に起因する価格上昇をちょうど相殺するような地金備蓄放出量であり、初期の価格レベルを補償 (compensate) することから、ここでは「補償備蓄変分」と呼んでおくことにしよう。補償される価格ターゲットを国際地金価格とし、図 7 に示された増産制約と地金価格上昇率との関係を前提に、増産制約の水準に対応した地金の補償備蓄変分を計算したものが図 8 である<sup>18</sup>。

図 8 に示した増産制約の緩和に伴う補償備蓄変分は、チリの鉱石供給障害量 20 万 t (地金換算)

<sup>18</sup>モデル方程式の変数対応では、地金の補償備蓄変分は地金備蓄純増  $Z_{1k}$  において表現される。その計算のためには、地金備蓄を放出する対象国を特定化しなければならない。ここでは鉱石輸入国の RoW(6.R1) を対象国として計算している。なお既述のとおり、実際には現在わが国でも米国でも銅地金は国家備蓄の対象とはなっていない。ここでの補償備蓄変分は現実の国家備蓄の放出を意図したものではなく、地金価格高騰を BaU レベルに補償するための備蓄放出量を概念的に定義したものである。またここでの補償される価格ターゲットは国際地金価格としているから、国際鉱石価格をターゲットとしたときとは (地金/鉱石の価格連動性からほぼ類似するものの) 若干異なり得る。

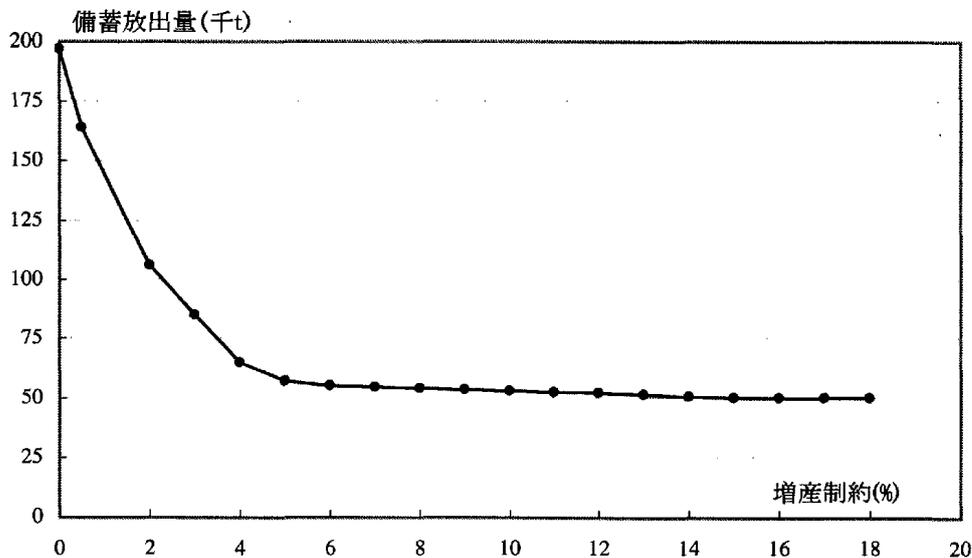


図 8: 増産制約の緩和に伴う補償備蓄変分：チリの鉱石供給障害 20 万 t

に対する評価であるから、Sim-1cにおける増産制約がゼロ（増産の余地無し）のときにおいてはほぼ同量（19.7 万 t）が補償備蓄変分に相応している。また Sim-1a における増産制約 2%のときには、補償地金変分は 10.6 万 t である。これはチリ以外の鉱石輸出国が 2%の鉱石増産をすることが可能な場合には、初期供給障害量（20 万 t）の約半分の地金備蓄放出によって、価格の上昇を抑えることが可能であることを示している。逆に言うと、もし短期的に 2%程度の増産余地があれば、それは鉱石輸出国自らの経済的インセンティブによって達成されるから、さらに国際地金価格の安定化のために、地金消費国全体として準備すべき地金備蓄量は 10.6 万 t であると言うことができる<sup>19</sup>。さらに増産制約を緩和したとき補償備蓄変分は、3%では 8.5 万 t、5%では 5.7 万 t、10%では 5.3 万 t、そして増産制約が無い場合には約 5.0 万 t であると計算される。先述と同様に、時間的視野に置き換えて考察すれば、20 万 t の鉱石供給障害に対して長期的には 5 万 t 程度の地金備蓄準備があれば対応可能であると解される。

最後に、パラメタ設定値の変化による sensitivity を確認しておきたい。モデルの BaU ケースおよびシミュレーションケースは表 6 でのパラメタ設定値を前提としている。チリの 20 万 t の供給障害と鉱石生産他国の 2%増産制約ケースである Sim-1a を基準とし、感度解析（sensitivity analysis）として地金のスポット国産率決定における代替弾性  $\beta_{1k}$  に着目しよう。各国共通に  $\beta_{1k} = 1.5$  とした基準想定値に対して、Sim-1a' では各国一律に 1.0、Sim-1a'' では 2.0 としたときの主要外生および内生変数の変化を示したものが、表 10 である<sup>20</sup>。

<sup>19</sup>増産制約を 2%としたとき、Sim-1a での 20 万 t の鉱石供給障害では補償備蓄変分は 10.6 万 t であるが、同様に Sim-1b に対応した 40 万 t の鉱石供給障害に対しては、補償地金変分は 26.3 万 t と計算されている。

<sup>20</sup>パラメタである鉱石生産の短期限界費用値について留意しておきたい。基準ケースにおける図 5 で述べたように、モデルでは各種パラメタの設定に伴って、基準年の鉱石輸出実績量をちょうど説明するような鉱石生産における短期限界費用のパラメタ  $b_{0k}^C$  が逆算されている。よって地金の代替弾性の変動による感度解析によって、パラメタである限界費用  $b_{0k}^C$  もまた変化することになる。いま地金の代替弾性が小さいとき、図 5 に示すような鉱石の（想定）輸入需要曲線および残差需要曲線の傾きは急になるから、残差需要曲線から導かれる限界収入曲線は y 切片が上昇し傾きは急になる。よって  $MR=MC$

表 10: 感度解析：地金の代替弾力性

	Sim-1a	Sim-1a'		Sim-1a''			
		dif	%	dif	%		
地金代替弾力性: $\beta_{1k}$	1.5	1.0		2.0			
鉱石生産:CL	3997.4	3997.4	0.0	0.0	3997.4	0.0	0.0
鉱石スポット輸出:CL	424.3	420.4	-3.9	-0.9	427.7	3.4	0.8
鉱石限界費用:CL	0.717	0.655	-0.062	-8.6	0.757	0.040	5.6
鉱石限界費用:ID	0.841	0.808	-0.033	-3.9	0.863	0.022	2.6
鉱石限界費用:AU	0.913	0.896	-0.017	-1.9	0.924	0.011	1.2
鉱石限界費用:CA	0.899	0.880	-0.019	-2.1	0.912	0.013	1.4
鉱石限界費用:PN	0.924	0.910	-0.014	-1.5	0.934	0.010	1.1
鉱石限界費用:PE	0.973	0.971	-0.002	-0.2	0.976	0.003	0.3
鉱石限界費用:R2	0.743	0.688	-0.055	-7.4	0.779	0.036	4.8
地金国際価格	1767.4	1751.6	-15.8	-0.9	1781.3	13.9	0.8
鉱石国際価格	1454.3	1437.9	-16.4	-1.1	1468.5	14.2	1.0
TC/RC	313.2	313.7	0.5	0.2	312.8	-0.4	-0.1
地金世界貿易	6716.2	6725.5	9.3	0.1	6707.3	-8.9	-0.1
地金生産:JP	1340.7	1341.0	0.3	0.0	1340.5	-0.2	0.0
地金生産:CN	1181.6	1178.9	-2.7	-0.2	1184.3	2.7	0.2
地金生産:KR	452.6	451.9	-0.7	-0.2	453.4	0.8	0.2
地金生産:DE	695.8	696.0	0.2	0.0	695.4	-0.4	-0.1
地金生産:US	2133.5	2133.6	0.1	0.0	2133.0	-0.5	0.0
地金生産:R1	1238.9	1233.4	-5.5	-0.4	1244.5	5.6	0.5
地金生産:CL	2654.0	2658.0	4.0	0.2	2650.6	-3.4	-0.1
地金生産:ID	126.3	126.5	0.2	0.2	126.2	-0.1	-0.1
地金生産:AU	417.8	418.2	0.4	0.1	417.5	-0.3	-0.1
地金生産:CA	545.7	546.2	0.5	0.1	545.3	-0.4	-0.1
地金生産:PN	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
地金生産:PE	431.9	432.5	0.6	0.1	431.3	-0.6	-0.1
地金生産:R2	3222.7	3226.4	3.7	0.1	3219.5	-3.2	-0.1
鉱石世界貿易	3381.6	3380.4	-1.2	0.0	3383.5	1.9	0.1
鉱石スポット貿易	2040.5	2039.3	-1.2	-0.1	2042.4	1.9	0.1
鉱石生産:ID	623.9	623.9	0.0	0.0	623.9	0.0	0.0
鉱石生産:AU	691.8	691.8	0.0	0.0	691.8	0.0	0.0
鉱石生産:CA	827.0	827.0	0.0	0.0	827.0	0.0	0.0
鉱石生産:PN	187.5	187.5	0.0	0.0	187.5	0.0	0.0
鉱石生産:PE	491.6	491.7	0.1	0.0	491.6	0.0	0.0
鉱石生産:R2	3961.0	3968.6	7.6	0.2	3954.9	-6.1	-0.2
スポット輸出:ID	352.1	352.0	-0.1	0.0	352.2	0.1	0.0
スポット輸出:AU	196.2	195.8	-0.4	-0.2	196.5	0.3	0.2
スポット輸出:CA	228.5	228.1	-0.4	-0.2	228.9	0.4	0.2
スポット輸出:PN	159.9	159.9	0.0	0.0	159.9	0.0	0.0
スポット輸出:PE	59.7	59.1	-0.6	-1.0	60.2	0.5	0.8
スポット輸出:R2	619.9	623.8	3.9	0.6	617.0	-2.9	-0.5

dif は Sim-1a からの差分、%は同乖離率。単位：地金/鉱石の国際価格は\$/t、それ以外は千 t  
 鉱石限界費用はパラメタ  $b_{0k}^C$  を示す（鉱石市場価格=1.0）

表 10 の感度解析の結果をみると、地金代替弾性が 1.5 である Sim-1a における地金/鉍石の価格はそれぞれ 1767.4\$/t および 1454.3\$/t であったが、弾力性を 1.0 と小さくした Sim-1a' では Sim-1a の計算結果よりもそれぞれ 15.8\$/t (対 Sim-1a で-0.9%) および 16.4\$/t (同-1.1%) だけ低下し、弾力性を 2.0 と大きくした Sim-1a'' ではそれぞれ 13.9\$/t (同+0.8%) および 14.2\$/t (同+1.0%) だけ上昇している。これを BaU からの地金/鉍石の価格上昇率として計算すると、Sim-1a では 12.4%と 15.6%の上昇であったのに対して、Sim-1a' では 11.4%と 14.3%の上昇、Sim-1a'' では 13.3%と 16.7%の上昇である。両ケースともに、パラメタ  $\beta_{1k}$  の変化が地金/鉍石の国際価格に与える影響は小さなものであるとすることができるであろう。

また地金の代替弾性  $\beta_{1k}$  と地金輸出の価格弾性  $\beta_{1k}^e$  (基準設定値は鉍石輸入国で 0.8、鉍石輸出国で 1.0) の双方の変化による、国際地金価格、国際鉍石価格および国際 TC/RC の BaU からの変動率のみを示したものが表 11 である。ここでもチリの 20 万 t の供給障害と鉍石生産他国の 2%増産制約ケースである Sim-1a を基準としており、表 11 では、 $\beta_{1k}^e = 0.8(k \in CM), 1.0(k \in CE)$  および  $\beta_{1k} = 1.5$  のときは Sim-1a に相応する (また  $\beta_{1k}^e$  は不変のまま、 $\beta_{1k}$  を 1.0 としたケースが表 10 の Sim-1a' であり、2.0 としたケースが Sim-1a'' である)。地金価格で見れば、最も価格上昇率が低いのは地金の代替弾性と地金輸出の価格弾性がともに小さい 10.1%であり、逆に高いのは両パラメタがともに大きい 14.0%である。鉍石価格でも同様に BaU に対して最低値で 12.7%上昇、最高値で 17.6%上昇となっている。双方のパラメタ変化による価格シミュレーションへの影響も、比較的軽微なものであると言えるかも知れないが、表 8 に示したようなシミュレーション結果もこの程度の幅を持って解釈されるべきであろう。

表 11: 価格変動率の感度解析：地金代替弾力性と地金輸出価格弾性

		地金代替弾力性 $\beta_{1k}$						
		0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0
地金輸出	0.4	10.1	10.6	11.0	11.3	11.7	12.0	12.0
	0.6	12.7	13.3	13.9	14.3	14.8	15.1	15.2
価格弾性	0.8	-0.27	-0.34	-0.41	-0.48	-0.57	-0.66	-0.70
	1.0	10.5	10.9	11.4	11.8	12.4	13.0	13.3
弾性	1.2	13.2	13.7	14.3	14.8	15.6	16.3	16.7
	1.4	-0.18	-0.24	-0.29	-0.35	-0.44	-0.52	-0.57
$\beta_{1k}^e$	1.2	11.0	11.3	11.7	12.1	12.8	13.5	14.0
	1.4	13.8	14.2	14.7	15.2	16.1	17.0	17.6
		-0.14	-0.19	-0.23	-0.28	-0.35	-0.42	-0.48

地金輸出価格弾性  $\beta_{1k}^e$  の上段は鉍石輸入国、下段は鉍石輸出国  
 価格変動は上から地金、鉍石、TC/RC の順 (すべて価格変動率%)

となる点で基準シナリオの初期鉍石輸出量を満たすためには、限界費用が小さくなる必要がある。一方、地金の代替弾性が大きいときには、その逆である。

## 5.2 地金需要拡大

鉱石供給障害シミュレーションと対照的に、ここでは需要側からの価格高騰リスクについてシミュレーションをおこなおう。対象国は中国 (2.CN) とし、地金国内需要量が 30% および 60% の増大に対する影響を考察することにする。ここでも鉱石輸出国の増産制約が問題であり、完全にオープンにしたもとの Sim-2a (30% 増加) および Sim-2b (60% 増加) と、30% 地金需要増と 2% の鉱石増産制約とする Sim-2c の三つのケースを想定する。シミュレーションによる主要内生変数を示したものが表 12 である。中国地金需要の 30% 増加は 45.9 万 t (世界の地金総消費量の 3.18%)、60% 増加は 91.8 万 t (同 6.36%) に相当する。

中国における地金の国内需要の拡大は、国内生産量の増産によるか、あるいは輸入地金によって充足されなければならない。地金の国産率の決定に対して、地金と鉱石の輸入価格の差分としての TC/RC が中国の製錬会社にとって機会費用 (収益) となる。Sim-2a についてみると、TC/RC の国際価格  $p_{\phi}^S$  は 0.7% 増と僅かな上昇であるが、中国国内における機会費用としての TC/RC  $p_{\phi k}^{mS}$  は 3.8% 増の上昇を示しており、結果として地金国内需要量の増加分 45.9 万 t のうち 34.2 万 t (増加分に対するシェアでは 74.5%、BaU からは 29.2% 増) を地金の国内生産量の増加によって、11.7 万 t (同 25.5%、27.0% 増) を地金輸入の拡大によって充当している<sup>21</sup>。

そして中国は地金国産量の増加分 34.2 万 t に対して、短期的に国内鉱出および銅スクラップの増産/回収は量的に限られていることから、そのほとんど (94.1%) の 32.2 万 t を鉱石のスポット買いによって調達している。これは BaU における中国のスポット買いによる原料鉱石の調達量の 58% 増を示している。BaU においてさえ中国は鉱石のスポット市場において世界貿易量の 26.4% のシェアを占める最大の輸入需要国であるが、このシミュレーション結果ではそのシェアは 36.8% にまで上昇している<sup>22</sup>。地金と鉱石の世界貿易量 (輸出総量=輸入総量) をみると、中国の地金輸入量 11.7 万 t の拡大を受けて、(各国の TC/RC の機会費用  $p_{\phi k}^{mS}$  は上昇していることから) 他の鉱石輸入国は海外地金への依存を縮小し (日本-0.4%、韓国-1.4%、米国-1.6%)、その相殺される効果も含めて地金の世界貿易量は 0.7% 増に留まっている。一方で、鉱石の世界貿易量は、中国の直接的な輸入増 32.2 万 t に加え、鉱石輸入各国の国産地金の増産の影響により、世界貿易量は 8.3% 増、スポット市場のみに限ると 13.6% もの増加を示している。BaU (WBMS に対応) における鉱石世界貿易量は地金のそのほぼ半分程度であるが、ここでのシミュレーション結果のようにも中国が消費地生産を志向し、中国の長契依存度が低いことを鑑みて鉱石のスポット市場の規模が拡大してくるとすれば、当該市場における大きな不安定要因であるように思われる。

以上のような Sim-2a における地金/鉱石の取引量の変化は、BaU から国際鉱石価格を 22.9%、国際地金価格を 18.5% (1863.3\$/t) 高めている。ここで、地金/鉱石と TC/RC の国際価格の変動について、鉱石供給障害シミュレーションと地金需要拡大シミュレーションとの比較から整理しておこう。鉱石供給障害シミュレーションでは、供給障害によって地金/鉱石の国際価格はともに上

<sup>21</sup> ここでのシミュレーションでは、鉱石の増産については短期的に調整可能な増産制約率を導入しているが、地金生産については特に制約を設けていない。よって特に Sim-2b における 60% の地金国内需要量の増加のケースでは、国産量の増産率が過大である可能性は残っている。地金国産率では (13) 式に表現されるように、長期契約による海外鉱の存在からその最下限を設定しているが、各国の製錬能力を短期的に増産制約とした上限値についても導入する必要があるかもしれない。もし Sim-2b において地金増産制約が設定されたならば、ここでのシミュレーション結果よりも、地金輸入量の増加と (国産地金の減少による) 鉱石輸入量の減少、そしてそれに起因する国際地金価格の上昇と国際鉱石価格の低下がおこるであろう。また、それは国際価格としての TC/RC の上昇を意味するから、他の鉱石輸入国の裁定的な働きにより、二つの国際価格の跛行性はそれほど大きなものにはならないと考えられる。各国の製錬能力の導入による、一般均衡的な影響については次の検討課題としたい。

<sup>22</sup> 表 7 に示した ICSG のデータにみるように、1999/2000 年の実際の中国の地金需要成長率は 22.8% であり、鉱石スポット市場における需要側からの影響力を増加させていることが指摘される。また中国は、銅の埋蔵量でみると (Mineral Commodity Summaries 2000)、チリ、米国、ペルーに次ぐ第四位の地位 (3600 万 t、世界全体の 6%) を占めていることから、長期的には国内鉱出の増加が見込めるかもしれない。

表 12: 中国の地金国内需要拡大シミュレーション

	Sim-2a			Sim-2b			Sim-2c		
		dif	%		dif	%		dif	%
地金需要量:CN	1989.0	459.0	30.0	2448.0	918.0	60.0	1989.0	459.0	30.0
地金国際価格	1863.3	290.5	18.5	2354.3	781.4	49.7	2155.9	583.0	37.1
鉱石国際価格	1546.7	288.4	22.9	2037.1	778.8	61.9	1841.3	583.0	46.3
TC/RC	316.6	2.0	0.7	317.2	2.6	0.8	314.6	0.1	0.0
地金世界貿易	6795.0	48.9	0.7	6802.0	55.9	0.8	6746.5	0.4	0.0
地金生産:JP	1344.2	2.7	0.2	1346.1	4.6	0.3	1343.2	1.7	0.1
地金生産:CN	1516.4	342.4	29.2	1879.2	705.2	60.1	1530.7	356.7	30.4
地金生産:KR	458.5	8.1	1.8	468.6	18.2	4.0	461.9	11.5	2.6
地金生産:DE	702.6	6.9	1.0	709.3	13.6	2.0	702.8	7.1	1.0
地金生産:US	2146.6	14.6	0.7	2162.3	30.3	1.4	2149.2	17.2	0.8
地金生産:R1	1262.1	39.6	3.2	1318.0	95.5	7.8	1287.0	64.5	5.3
地金生産:CL	2683.0	17.2	0.6	2687.6	21.9	0.8	2666.2	0.5	0.0
地金生産:ID	127.2	0.5	0.4	127.4	0.7	0.5	126.7	0.0	0.0
地金生産:AU	420.7	1.7	0.4	421.2	2.2	0.5	419.1	0.1	0.0
地金生産:CA	548.9	1.9	0.3	549.4	2.4	0.4	547.1	0.1	0.0
地金生産:PN	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
地金生産:PE	436.6	2.8	0.6	437.4	3.6	0.8	433.9	0.1	0.0
地金生産:R2	3249.9	16.2	0.5	3254.2	20.5	0.6	3234.2	0.5	0.0
地金輸入:JP	229.1	-1.0	-0.4	227.7	-2.4	-1.0	228.5	-1.6	-0.7
地金輸入:CN	550.5	117.1	27.0	646.7	213.3	49.2	535.7	102.3	23.6
地金輸入:KR	511.9	-7.1	-1.4	502.1	-16.9	-3.3	507.5	-11.5	-2.2
地金輸入:DE	599.3	-6.0	-1.0	592.9	-12.4	-2.1	598.2	-7.1	-1.2
地金輸入:US	900.5	-14.5	-1.6	884.9	-30.1	-3.3	897.8	-17.2	-1.9
地金輸入:R1	4003.7	-39.6	-1.0	3947.7	-95.5	-2.4	3978.8	-64.5	-1.6
地金輸入:R2	3729.5	285.2	8.3	4019.5	575.2	16.7	3660.7	216.4	6.3
鉱石世界貿易	2388.4	285.2	13.6	2678.5	575.2	27.4	2319.7	216.4	10.3
鉱石生産:CL	4259.9	62.3	1.5	4316.8	119.3	2.8	4281.4	83.9	2.0
鉱石生産:ID	653.4	41.7	6.8	696.2	84.5	13.8	623.9	12.2	2.0
鉱石生産:AU	718.8	40.6	6.0	756.3	78.1	11.5	691.8	13.6	2.0
鉱石生産:CA	852.0	41.2	5.1	890.6	79.8	9.8	827.0	16.2	2.0
鉱石生産:PN	222.3	38.5	21.0	258.4	74.6	40.6	187.5	3.7	2.0
鉱石生産:PE	521.8	39.8	8.3	554.8	72.8	15.1	491.6	9.6	2.0
鉱石生産:R2	3966.7	60.5	1.5	4021.2	115.0	2.9	3984.3	78.1	2.0
スポット輸入:JP	251.0	1.1	0.4	250.5	0.7	0.3	248.4	-1.4	-0.6
スポット輸入:CN	878.2	322.3	58.0	1212.4	656.5	118.1	874.7	318.8	57.4
スポット輸入:KR	283.9	5.7	2.1	290.7	12.6	4.5	285.2	7.1	2.6
スポット輸入:DE	162.7	-2.1	-1.3	157.1	-7.8	-4.7	155.2	-9.6	-5.8
スポット輸入:US	96.4	-65.4	-40.4	18.3	-143.5	-88.7	29.0	-132.8	-82.1
スポット輸入:R1	716.3	23.6	3.4	749.5	56.7	8.2	727.0	34.3	4.9
スポット輸出:CL	657.8	45.1	7.4	710.1	97.4	15.9	696.1	83.4	13.6
スポット輸出:ID	380.7	41.2	12.1	423.3	83.8	24.7	351.7	12.2	3.6
スポット輸出:AU	220.4	38.9	21.4	257.3	75.9	41.8	195.0	13.5	7.5
スポット輸出:CA	250.4	39.3	18.6	288.4	77.4	36.7	227.2	16.2	7.7
スポット輸出:PN	194.8	38.5	24.7	230.9	74.6	47.8	159.9	3.7	2.4
スポット輸出:PE	85.2	37.0	76.8	117.4	69.2	143.7	57.8	9.6	19.8
スポット輸出:R2	598.4	44.3	8.0	648.6	94.5	17.1	631.7	77.6	14.0

dif は BaU からの差分、% は BaU からの乖離率を示す。単位：地金/鉱石の国際価格は\$/t、それ以外は千 t

昇するものの、ここでのシミュレーションとは逆に TC/RC は下落していたことに留意されたい。地金市場と鉍石市場の二つを比較すると、外生的なショックの性格の相違により、供給障害シミュレーションでは相対的に鉍石市場がよりタイトとなっており、地金需要増大シミュレーションではその逆に相対的には地金市場がタイトになっている。ともに地金/鉍石の国際価格上昇をもたらすものの、TC/RC の国際価格でみたとき前者ではマイナス、後者ではプラスの相反する方向に動く傾向にある。前者を cost push 型、後者を demand pull 型と呼ぶことにしよう。前節 5.1 で詳細に検討したように、鉍石供給障害に起因する cost push 型価格上昇では、TC/RC の国際価格の低下に伴って地金輸出量決定に対する TC/RC の機会費用  $p_{\phi k}^{eS}$  は低下し、地金輸出量は減少していた。ここでの地金需要拡大に起因する demand pull 型の価格上昇では、TC/RC の国際価格自体が上昇する傾向にあるから、関税に守られている鉍石輸入国の製錬会社にとって輸入地金から国産地金への代替を促進する効果があるのみではなく、地金輸出量もまた増加させるインセンティブを持つことになる。このことは海外地金に対する需要の減少と供給の増加を意味するから、地金市場において価格高騰を抑える（地金需要拡大の外生的ショックによる直接的な価格高騰効果を緩和する）機能を持つ。一方で、地金生産量の増加によって鉍石需要量は増大するから、わが国のようなカスタムスメルターは鉍石の国際スポット市場において追加的に調達する必要に迫られ、国際鉍石価格の上昇を引き出す裁定的な働きを持っている。このように地金需要増に端を発する需要側からの価格上昇は、鉍石価格をも引き上げる（pull）ことになる。

ここでの考察のように、地金/鉍石の価格高騰は、供給側からの cost push 型および需要側からの demand pull 型の双方によって齎され得る。外生的なショックによる価格高騰を一般に「供給障害」と呼ぶのであれば、「供給障害」は需要と供給の両面に起因すること、またともに結果としての地金/鉍石の価格高騰を齎すものの、地金/鉍石の国際市場における需給均衡のメカニズムは大きく異なる可以说うことができる<sup>23</sup>。

国内地金需要増を 60%とする Sim-2b でも、上記のような傾向は同様であるが、demand pull 型の価格高騰は地金価格で 49.7% (2354.3\$/t)、鉍石価格で 61.9%にもなっている。Sim-2b は 91.8 万 t もの地金需要増のケースであるから、鉍石輸出国が増産制約無しに生産/輸出をおこなうことができたとしても大きな価格高騰をもたらさざるを得ない。鉍石輸出国の増産制約をおかずに、中国の地金需要量の拡大に伴う地金/鉍石の国際価格への影響を示したものが図 9 である。図における地金需要増 30% (45.9 万 t) のときが Sim-2a、60% (91.8 万 t) のときが Sim-2b に相応する。5%の地金需要増では地金価格の 2.8%上昇、鉍石価格の 3.5%上昇の微小な影響に過ぎないが、地金需要増に伴ってほぼ直線的に価格上昇が示されている。Sim-2b に相当するほぼ 60%程度まで拡大したとき、地金/鉍石の国際価格は急速に上昇している。

また Sim-2a と同様な 30% (45.9 万 t) 増を外生的ショックとした上で、鉍石輸出国の増産制約を 2%とする Sim-2c では、地金価格を 37.1% (2155.9\$/t)、鉍石価格を 46.3%上昇させている。これは増産制約の無い Sim-2a のほぼ 2 倍の価格高騰であり、短期的に生産調整が困難である場合には大きな影響を持つことを示している。同様に地金需要増 30%のもとで、増産制約を (Sim-2c に相応する) 2%程度から徐々に緩和したときの地金/鉍石の国際価格指数の推移を示したものが図 10 である。増産制約の緩和に伴って国際価格の上昇率は収束に向かっていく。その収束点は Sim-2a に示した地金価格上昇率 18.5%、鉍石価格上昇率 22.9%であり、鉍石輸出各国は増産することは技術的に可能であったとしても、それ以上に増産する経済的インセンティブが無いことにより、高い価格において均衡が達成している。

<sup>23</sup> これを鉍山会社からみれば、鉍石供給障害の直接的な発生国を除き、cost push 型および demand pull 型のいずれに起因せよ、価格上昇は経済的利益である。関税に守られた国における製錬会社も、結果としての価格上昇は経済的利益を生むが、demand pull 型の方がより大きな恩恵を受ける。一方で、内需よりも主に外需に大きく依存した（関税の賦課の無い国における）製錬会社においては、demand pull 型はメリットであるが、cost push 型ではデメリットである。

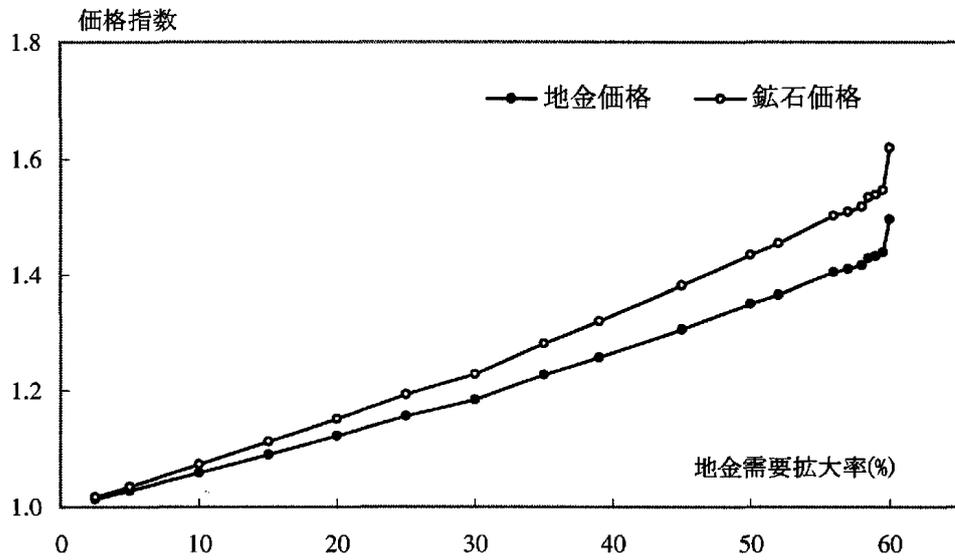


図 9: 中国の地金需要拡大に対する価格指数の変化：増産制約無し

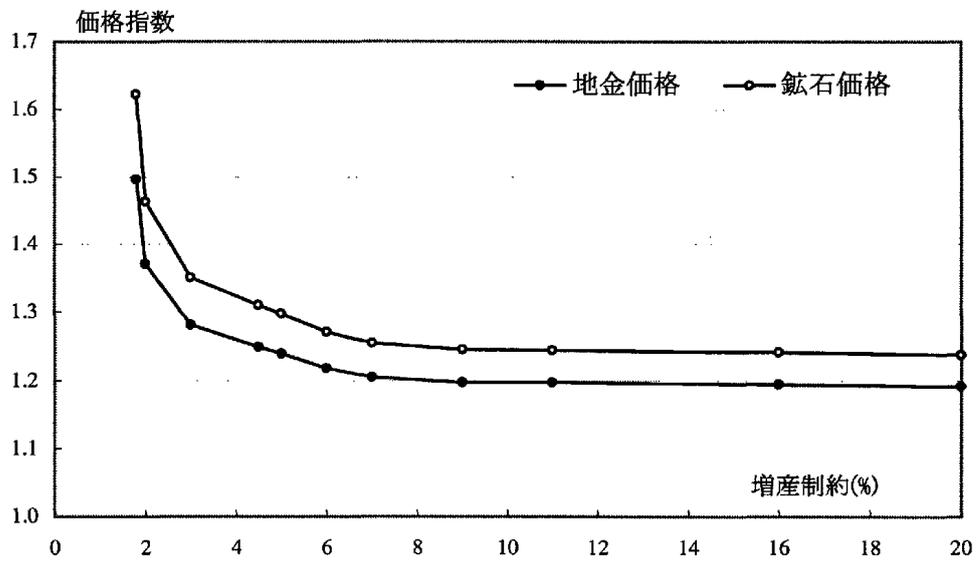


図 10: 増産制約の緩和に対する価格指数の変化：中国の地金需要 30%拡大

### 5.3 鉱石長期契約

わが国（1.JP）の長期契約による鉱石輸入量が減少し、スポット買いによって調達をおこなわざるを得ないケースを想定してシミュレーションをおこなおう<sup>24</sup>。ここでは Sim-3a としてわが国の長契輸入鉱石の 30%縮小ケース、Sim-3b で 50%縮小ケース（ともに鉱石輸出国の増産制約は無し）、および長契輸入 50%縮小とともに増産制約を 2%とした Sim-3c の三つのケースを想定する。長契輸入量の縮小は、鉱石輸出国側からみれば長契輸出量の縮小を意味するから、各シミュレーションケースでは BaU の長契輸出量に比例的に減少することを想定しよう（もちろんその差分をスポット市場で売却することができる）。わが国は自主開発や融資買鉱などのかたちで、多大な経済的/時間的コストを払って長期契約を実現している。ここでのシミュレーションは、仮想的に、その縮小に伴う短期的影響をみるものである。その検討を通じて、長期契約の政策的意義を考察しておきたい。シミュレーションによる主要内生変数を示したものが表 13 である。

わが国の長契輸入 30%縮小（30.0 万 t）は、基準ケースシナリオにおける世界長契鉱石貿易量の 22.36%、50%（50.0 万 t）は 37.26%に相当する。そして Sim-3a の 30%縮小のケースでは、わが国の鉱石スポット輸入量は、ほぼ中国に匹敵するレベルにまで増大することを意味している。一方、鉱石輸出国では長契輸出量をそれぞれのケースで一律に 22.36%、37.26%縮小するが、チリの長契輸出の減少量が最大でそれぞれ 20.5 万 t、34.2 万 t である。いま地金の国内需要は一定であるから、わが国は長契鉱石輸入量の減少に対して地金の国内生産量を減らして輸入地金への依存を高めるか、あるいは鉱石のスポット買いを大幅に増加させなければならない。もしわが国が長契ものの減少分だけスポットものを増加させ、一方で鉱石輸出国においても一定の鉱石生産量のうち長契ものの減少分をスポット市場へと供給すると仮定すれば、その総量は同じであることから国際市況に対してあまり大きな影響を持たないと考えられる。しかしながら鉱石輸出国は、利潤最大化を実現するために長契ものの減少分をすべてスポット市場に供給しない、つまり減産をすることが考えられる。

Sim-3a の結果をみると、地金の価格上昇と関税の存在による機会費用としての TC/RC の上昇から、日本はむしろ地金輸入量を若干ながら（0.5%）減少させ、鉱石のスポット輸入量を 120%増加させている。これは完全に長契の減少分をスポット買いによって補填している姿である。最も長契輸出量が減少したチリにおいて、それをスポット市場に供給するよりも減産をおこなった方が利潤最大化をもたらし、16.8 万 t（4.0%）の減産をおこなっている。一方で、チリの競争相手国であるインドネシアは 1.0%増、オーストラリア 2.7%増、カナダ 3.0%増、パプアニューギニア 16.1%増と、鉱石輸出量の少ない国で増産がおこなわれている。これはチリの意図した減産を受けて、チリ以外の輸出国では  $E_{0,-k}^S$  の減少によって残差需要の変位を意味することから増産（スポット鉱石供給増）をおこなうことが利潤最大化になる。Cournot-Nash 均衡の達成によって、結果として国際鉱石価格は 7.7%の上昇、地金価格は 6.1%の上昇（1669.1\$/t）となっている。僅かながら TC/RC の国際価格は減少しており、このシミュレーションはチリの意図した鉱石減産による cost push 型の価格上昇をもたらしていると解することができる。

長契輸入量を 50%縮小とする Sim-3b では、同様にチリの 6.8%（28.3 万 t）の減産およびチリ以外の鉱石輸出国の増産を受けて、地金/鉱石の国際価格はそれぞれ 11.1%、14.0%上昇する。図 11 では長期契約の縮小幅の増大に伴う地金/鉱石の国際価格の変動の推移を示している。地金価格で見れば短期的に最大 15%強程度の価格上昇が生じ得るという結果になっている。

Sim-3b に対し、鉱石輸出国の増産制約を 2%としたケースが Sim-3c である。増産制約は BaU に

<sup>24</sup> 長期契約輸入量の減少は、（長契輸入鉱石による地金生産を除いたベースによって定義した）地金のスポット国産率  $w_{1k}^{dS}$  を大きく増加させることになるから、シミュレーションのケースに応じてパラメタ  $\alpha_{1k}$  を予め変えなくてはならない。 $\alpha_{1k}$  は基準年値の  $M_{1k}/(X_{1k} - E_{1k} - M_{0k}^L)$  に対応しているから、 $M_{0k}^L$  の減少によってその設定値は大きくなる。

表 13: 日本の長期契約縮小シミュレーション

	Sim-3a			Sim-3b			Sim-3c		
		dif	%		dif	%		dif	%
長契輸入:JP	699.6	-299.8	-30.0	499.7	-499.7	-50.0	499.7	-499.7	-50.0
地金国際価格	1669.1	96.2	6.1	1748.1	175.2	11.1	1889.2	316.4	20.1
鉱石国際価格	1355.2	96.9	7.7	1434.8	176.5	14.0	1577.0	318.8	25.3
TC/RC	313.9	-0.7	-0.2	313.2	-1.3	-0.4	312.2	-2.4	-0.8
地金世界貿易	6730.5	-15.6	-0.2	6717.5	-28.6	-0.4	6694.4	-51.7	-0.8
地金生産:JP	1342.1	0.6	0.0	1343.1	1.6	0.1	1344.3	2.8	0.2
地金生産:CN	1177.7	3.7	0.3	1180.7	6.7	0.6	1186.1	12.1	1.0
地金生産:KR	451.5	1.1	0.2	452.3	1.9	0.4	453.9	3.5	0.8
地金生産:DE	695.7	0.0	0.0	695.6	-0.1	0.0	695.6	-0.1	0.0
地金生産:US	2132.7	0.7	0.0	2133.2	1.2	0.1	2134.2	2.2	0.1
地金生産:R1	1230.5	8.0	0.7	1237.0	14.5	1.2	1248.8	26.3	2.1
地金生産:CL	2659.7	-6.0	-0.2	2654.6	-11.2	-0.4	2645.8	-19.9	-0.7
地金生産:ID	126.5	-0.2	-0.1	126.4	-0.3	-0.3	126.1	-0.6	-0.5
地金生産:AU	418.4	-0.6	-0.1	417.9	-1.1	-0.3	417.0	-2.0	-0.5
地金生産:CA	546.3	-0.7	-0.1	545.8	-1.2	-0.2	544.8	-2.2	-0.4
地金生産:PN	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
地金生産:PE	432.8	-1.0	-0.2	432.0	-1.8	-0.4	430.6	-3.2	-0.7
地金生産:R2	3228.0	-5.7	-0.2	3223.2	-10.5	-0.3	3215.0	-18.7	-0.6
地金輸入:JP	228.9	-1.3	-0.5	227.4	-2.7	-1.2	225.3	-4.9	-2.1
地金輸入:CN	429.5	-3.9	-0.9	426.4	-7.0	-1.6	420.8	-12.6	-2.9
地金輸入:KR	517.6	-1.4	-0.3	516.4	-2.6	-0.5	514.3	-4.7	-0.9
地金輸入:DE	605.0	-0.3	0.0	604.8	-0.5	-0.1	604.3	-1.0	-0.2
地金輸入:US	914.3	-0.7	-0.1	913.7	-1.3	-0.1	912.6	-2.4	-0.3
地金輸入:R1	4035.3	-8.0	-0.2	4028.8	-14.5	-0.4	4017.0	-26.3	-0.6
鉱石世界貿易	3412.8	-31.5	-0.9	3388.8	-55.5	-1.6	3349.8	-94.5	-2.7
鉱石スポット貿易	2371.5	268.3	12.8	2547.4	444.2	21.1	2508.4	405.1	19.3
鉱石生産:CL	4029.9	-167.7	-4.0	3914.1	-283.4	-6.8	3950.3	-247.2	-5.9
鉱石生産:ID	618.1	6.4	1.0	621.5	9.8	1.6	623.9	12.2	2.0
鉱石生産:AU	696.4	18.2	2.7	709.1	30.9	4.6	691.8	13.6	2.0
鉱石生産:CA	835.0	24.2	3.0	851.6	40.8	5.0	827.0	16.2	2.0
鉱石生産:PN	213.4	29.6	16.1	234.0	50.2	27.3	187.5	3.7	2.0
鉱石生産:PE	514.9	32.9	6.8	538.3	56.3	11.7	491.7	9.7	2.0
鉱石生産:R2	3916.9	10.7	0.3	3920.5	14.3	0.4	3956.7	50.5	1.3
スポット輸入:JP	549.7	299.9	120.0	750.0	500.2	200.2	750.5	500.6	200.4
スポット輸入:CN	552.6	-3.3	-0.6	550.1	-5.8	-1.0	546.1	-9.8	-1.8
スポット輸入:KR	278.4	0.2	0.1	278.6	0.4	0.2	279.1	0.9	0.3
スポット輸入:DE	161.7	-3.2	-1.9	159.1	-5.7	-3.5	155.0	-9.9	-6.0
スポット輸入:US	134.1	-27.7	-17.1	112.5	-49.3	-30.5	76.3	-85.4	-52.8
スポット輸入:R1	695.1	2.3	0.3	697.1	4.4	0.6	701.4	8.7	1.3
スポット輸出:CL	656.6	43.8	7.2	682.9	70.2	11.5	727.8	115.1	18.8
スポット輸出:ID	378.6	39.1	11.5	403.9	64.4	19.0	406.6	67.1	19.8
スポット輸出:AU	217.7	36.2	20.0	242.4	61.0	33.6	226.0	44.5	24.5
スポット輸出:CA	247.7	36.7	17.4	272.7	61.6	29.2	249.1	38.1	18.0
スポット輸出:PN	192.0	35.7	22.9	216.7	60.5	38.7	170.2	13.9	8.9
スポット輸出:PE	82.0	33.8	70.2	106.4	58.2	120.7	61.1	12.9	26.8
スポット輸出:R2	596.9	42.8	7.7	623.0	68.9	12.4	667.4	113.3	20.5

dif は BaU からの差分、% は BaU からの乖離率を示す。単位：地金/鉱石の国際価格は\$/t、それ以外は千 t

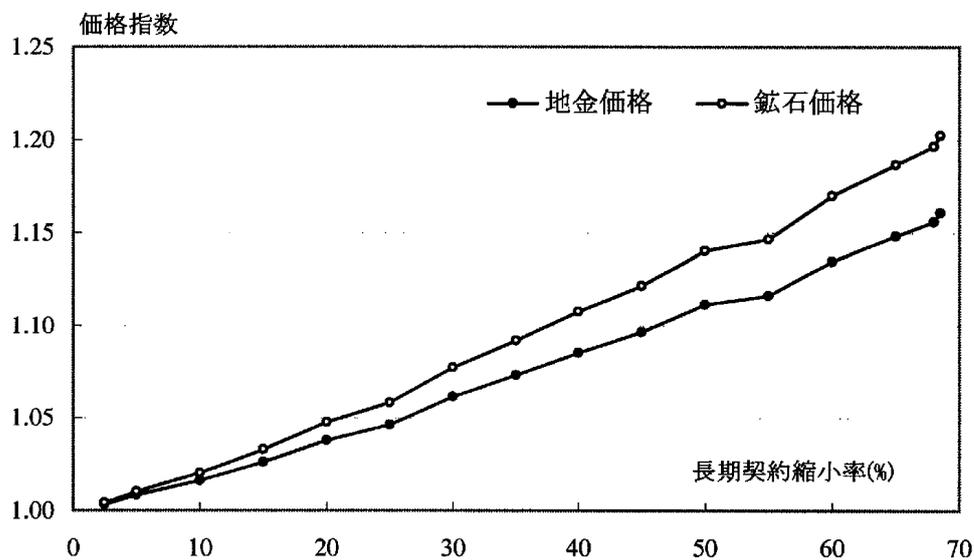


図 11: 日本の長期契約縮小に対する価格指数の変化：増産制約無し

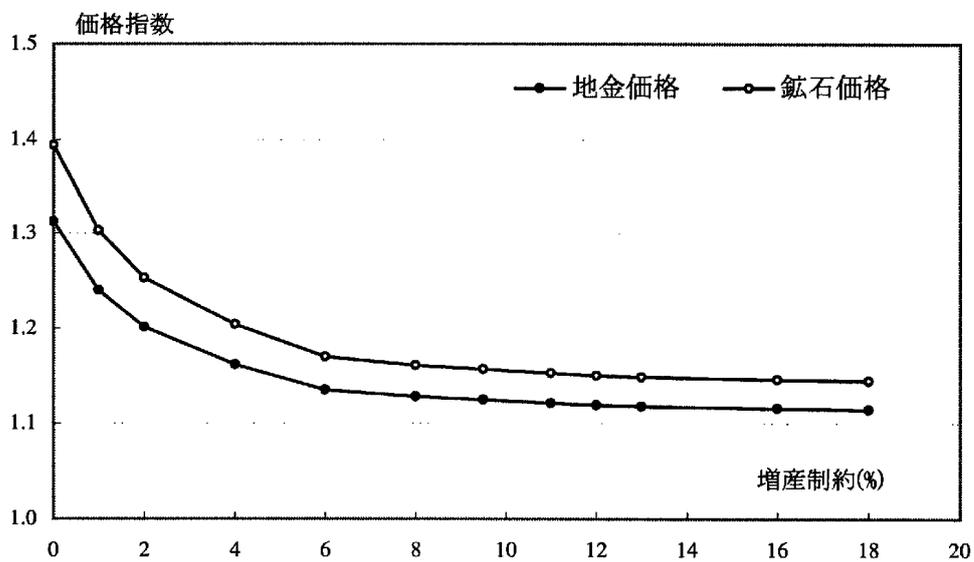


図 12: 増産制約の緩和に対する価格指数の変化：日本の長期契約 50%縮小

おける鉱石生産量に対して設けられることから、Sim-3bでBaUよりも減産をおこなっているチリに関しては十分な増産余地があることを意味している。一方、チリ以外の鉱石生産/輸出国は残差需要の変位に対応しての増産幅は限られることから、鉱石のスポット輸出供給もオーストラリアでSim-3bの33.6%増からSim-3cの24.5%増、カナダ29.2%増から18.0%増へと供給増量を縮小している。これを受けてむしろ供給制約に余裕のあるチリは、減産幅をSim-3bの6.8%減からSim-3cでは5.9%へと縮小し、スポット輸出を11.5%増から18.8%増へと増大させている。その結果として地金/鉱石の国際価格はそれぞれ20.1%、25.3%上昇である。増産制約をゼロ（増産の余地無し）から徐々に緩和したときの、対応する国際価格の推移を示したものが図12である。もし鉱石輸出国で増産の余地が無いケースでは、地金価格で30%程度の価格上昇となり、増産制約16%程度するときからほぼ収束に向かっている（収束点はSim-3bである）。

以上の短期的シミュレーションは、仮想的にわが国の長期契約が突然に履行されなかったような状況に相応している。それは短期的な視野において、わが国の長期契約の存在が、国際地金価格の安定性に寄与する潜在的な経済的便益を示していると解することも可能であろう。しかし、その潜在的便益の受益者はわが国の地金需要者のみではなく、国際商品である地金のすべての需要者である。表5に示した鉱石輸入国の長期契約率はモデルの基準ケースを与える一つの設定値であるが、実際の長期契約も鉱石輸入各国において（受益と負担の一致を近似的に持つように）均等におこなわれずに、わが国の長期契約率が突出して高いと思われることを鑑みると、わが国の資源政策にとって再考されるべき余地があるかもしれない。ここで考察したような短期的な視野からの潜在的便益を実現し、受益と負担を明確にするためには、国際地金価格の上昇から負の外部性を受ける複数の地金消費国による公的世界備蓄制度などが、一つの代替案であると考えられる。このことを5.1で導入した補償備蓄変分概念によって確認しておきたい。

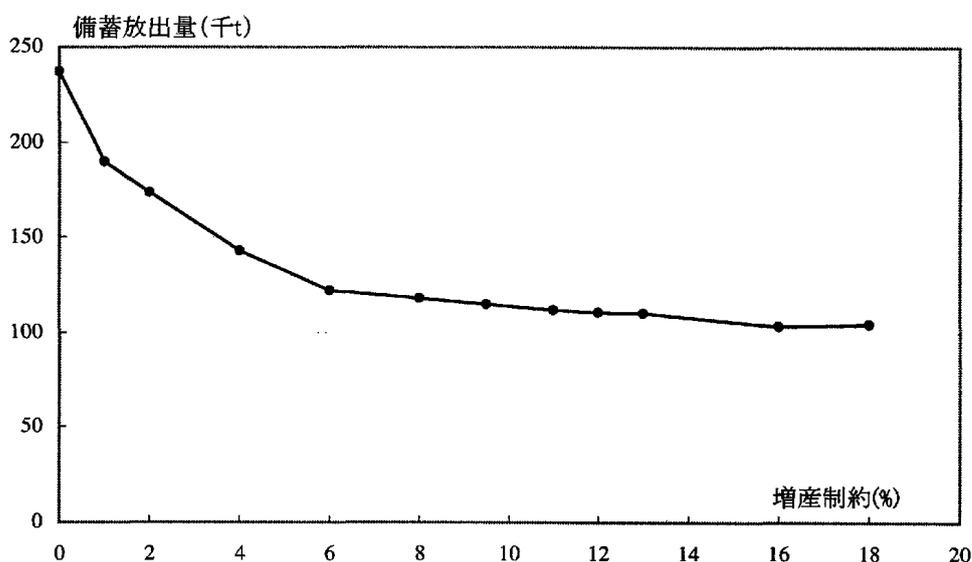


図 13: 増産制約の緩和に伴う補償備蓄変分：日本の長期契約 50%縮小

図 13 は、長期契約 50% (50 万 t) 縮小ケース (図 12) における増産制約の緩和に伴う補償備蓄

変分を示している。増産制約がゼロ（増産の余地無し）のときは国際地金価格の31.2%上昇分を補償する地金備蓄放出量は23.7万tである。増産制約の緩和に伴って、国際地金価格の上昇率は縮小するから、補償備蓄変分も小さなる。増産制約2%（Sim-3cに相応）とき地金価格は20.1%上昇であり、補償備蓄変分は17.4万t、6%ではそれぞれ13.5%と12.2万t、ほぼ収束する増産制約16%以上では地金価格上昇率は11.1%（Sim-3b）で補償地金変分は10.4万t程度である。短期的な視野において、わが国の長契鉱石輸入量（50万t）の存在による潜在的便益を評価するならば、それは10-17万t程度の地金備蓄量に相応すると認識することができる。

最後にここでのシミュレーション結果を受けて、より中長期的な視野から、長期契約の政策的意義を考察しておきたい。図12での鉱石生産/輸出国における増産制約が無い姿（Sim-3bに相応）は、中長期的な価格上昇効果を示している解することもできる。しかし、それは鉱石市場に対する新規参入/供給者が無いという留意点のもとでの議論である。Sim-3bのような国際価格の高位安定（地金11%上昇、鉱石14%上昇）があったとき、それは鉱石生産における限界費用に比して市場価格がより高くなっていることを意味している。もし完全競争的な市場観を持つのであれば、長期的には当該市場への新規参入を促し、市場価格が限界費用に一致するまで供給増加を続けるであろう。そのような完全競争的かつ長期的市場観に立つとき、長期契約の存在に一国経済の視野からの外部性（externality）を見出すことは困難であろう。それは鉱石の安定供給に寄与するよりも、製錬会社のTC/RCという収益の安定性に寄与するのみである。そのとき、民間製錬会社の経済的インセンティブの範囲内で長契確保のための努力がおこなわれるべきであろう。

しかし、非鉄鉱物資源の偏在性と、非鉄メジャーによる寡占化の進行を考えると、自由に新規参入がocこりうるか、長期的に完全競争的な市場観を許容し得るかは、慎重に検討されなければならない。もし何らかの制約により、長期的に参入障壁が存在するのであれば、長期契約の存在による外部性を認めることができる。

## 6 結論と課題

本稿では、わが国の資源政策の考証を目的として、銅地金と銅鉱石二つの相互依存的な国際市場における多国間一般均衡モデルの構築をおこない、鉱物資源の供給障害リスクを数量的に評価した。モデルの構造には非鉄金属市場の特性を反映させることを重視するとともに、鉱物資源の偏在性とその技術特性から、鉱石の生産/輸出国における寡占的経済行動を前提としている。モデルでは国際市場の需給均衡およびCournot-Nash均衡の成立により、国際地金価格、国際鉱石価格、そして製錬費（TC/RC）の国際価格が同時決定される。

シミュレーションとしては、世界最大の銅鉱石生産/輸出国であるチリの鉱石供給障害を想定したケース、米国に次ぐ世界第二位の銅消費国である中国における地金需要拡大ケース、そしてわが国の鉱石の長期契約輸入の評価をおこなう3つのケースを想定している。各シミュレーションケースから得られる主な試算結果は次のとおりである。

- ・チリの銅鉱石生産量に20万t（同国の年間鉱石生産量の4.8%に相応）あるいは40万t（同9.5%）の供給障害があったとき、他の鉱石輸出国は増産し鉱石輸出量を増加させるインセンティブを持つけれども、もしそれぞれが2%まで増産可能であるとすると、国際地金価格はそれぞれ12.4%、57.7%、また国際鉱石価格はそれぞれ15.6%、72.6%の価格高騰効果を持つ。

- ・チリの20万tの供給障害ケースにおいて、短期的にチリ以外の鉱石輸出国が増産できないときには、国際地金価格の価格上昇率を12.4%から29.6%へ、同じく鉱石価格について15.6%から37.3%へ押し上げることになる。

・同ケースで、逆にチリ以外の輸出国において十分な増産余地があるときには、価格高騰を受けて生産/輸出量を増加することが利潤の拡大に繋がることから、国際地金価格上昇率は5.2%（鉱石は6.4%）と軽微な影響に留まっている。ただし20万tという供給障害は、世界鉱石生産量の僅か1.5%程度に過ぎない規模である。

・チリの20万t供給障害において、チリ以外の鉱石輸出国が2%の増産制約を持つとき、地金の国際価格高騰を相殺するためには10.6万t（供給障害量の約半分）の地金備蓄放出が必要である。もし十分な増産余地があるのであれば、5万t程度の地金備蓄によって対応することが可能である。

・中国の地金需要が30%（45.9万t）あるいは60%（91.8万t）拡大したとき、（鉱石輸出各国の増産制約が無いとき）国際地金価格をそれぞれ18.5%、49.7%、国際鉱石価格を22.9%、61.9%上昇させる。シミュレーション結果のように、中国が銅地金の消費地生産を志向したとき、同国による鉱石の長期契約輸入量が小さいことを鑑みると、中国の需要拡大は鉱石スポット市場において大きな不安定要因であると考えられる（中国における1999/2000年の実際の地金需要成長率は22.8%である）。

・中国の地金需要30%拡大ケースにおいて、鉱石輸出各国の増産制約が2%であるとしたとき、国際市場において地金価格を37.1%（制約の無いとき18.5%）、鉱石価格を49.3%（同22.9%）高めることになる。特に鉱石の市況がタイトなときには、中国の需要拡大は大きな影響を持つ。

・わが国の長期契約による鉱石輸入量が減少し、スポット買いによって調達をおこなわざるを得ないとき、30%（30万t）の縮小ケースでは国際地金価格を7.7%、国際鉱石価格を6.1%上昇させる。このとき長期契約輸出国では、わが国の長期契約の縮小分だけ、鉱石のスポット市場において輸出を拡大させることができる。しかし利潤最大化の実現のためすべてを供給しないことにより、国際市場では価格上昇をもたらすことになる。

・同様に50%（50万t）縮小したとき、国際地金価格は11.1%（鉱石輸出各国の増産制約を2%としたとき20.1%）、国際鉱石価格は14.0%（同25.3%）の上昇である。50万tの鉱石長期契約輸入を縮小したケースにおける価格高騰は、10万t強の地金備蓄放出によって補償することができる。

以上が本稿でのシミュレーションからの主な試算結果である。モデルにおける方程式体系や、パラメタなどさらに検討を継続しなければならないが、最後に、現実に加速する寡占化の進行を紹介するとともに、検討課題を述べておきたい。

2000年10月、Billiton社（英国）はRio Algom社（英国）の完全買収によって、Cerro Colorado銅山（チリ）とSpence銅鉱床（チリ）の100%権益を手中にした。昨年には、世界最大の銅鉱山であるEscondida鉱山（チリ）の57.5%の権益を持つBHP社（オーストラリア）とBilliton社の合併が発表され、BHP Billiton社はCODELCO社（チリ）、Phelps Dodge社（米国）に次ぐ第三の銅生産者となり、チリとペルーに銅生産を集中化しつつある。

また昨年末（2001年12月）、世界最大の銅生産会社CODELCO社は、鉄鉱石最王手で1990年代以降民営化されたVale do Rio Doce（ブラジル）と銅鉱山の共同開発に関して提携を発表した。非鉄メジャーの市場支配力を巡る競争は、銅から非鉄全体、そして鉄鉱石をも含んだ資源全体の戦略性が議論されるようになってきている。一連の巨大化するメジャーによる寡占化の目的は、現在のところ世界的な景気後退から弱くなった資源需要に対して、コスト競争力を高めることによっていると考えられる。一般に、寡占化は景気拡大局面よりも、むしろ景気後退期に進行する。そして、そのコスト削減競争の後、もし世界的需要の回復から需要拡大局面に直面するとき、市場支配力の強化に成功した企業は各種資源の国際市場需要曲線の変位に対応して寡占的価格設定を可能にすることができるであろう。

加速する寡占化の進行を睨みながら、有効な価格安定化装置の整備・強化を目的として、わが国の鉱物資源政策は如何にあるべきだろうか。本稿では実証的アプローチによって、広義に捉えた供

給障害の影響を数量的に評価をおこなってきた。資源政策のあり方を問う規範的な議論については、次の課題である。備蓄という政策手段を考えたとき、それは価格安定化への外部性を持つという意味で一つの政策手段として認識・評価することはできる。しかしその行動原理そのものは、利潤動機と反するものではない。むしろ市場参加者の利潤動機を生かしながら、不完全市場である鉱物資源の国際市場メカニズムを補完するような政策の在り方を探る必要があるのではないだろうか。

## 参考文献

- [1] U.S. Geological Survey(1999): *Minerals Yearbook*.
- [2] 大野栄一 (1998) :『わが国における電気銅需要の動向分析と非鉄金属の需要予測に関する研究』, 博士論文.
- [3] 金属鉱業事業団 :「ニュースフラッシュ」.
- [4] 経済産業省 (1999) :『資源統計年報』.
- [5] 資源エネルギー庁 (1999) :『資源・エネルギー年鑑』.
- [6] 資源エネルギー庁 (2001) :『鉱業便覧』.
- [7] 新熊隆嘉・伊藤俊秀・角新支朗・麻植邦敏・西山 孝 (2000) :「銅の価格予測と近未来における発展途上国の増産計画の影響」, 『資源と素材』, Vol.116, pp.889-893.
- [8] 中村功 (1997) :「わが国非鉄製錬業界の課題と展望」, 『興銀調査』 276, No.1, p.57.
- [9] 日本貿易振興会 (2001) :『中国の関税率表』.
- [10] 増田信行・安達毅・山富二郎 (2001) :「海外の露天掘鉱山に関する現状分析とその背景」, 『資源と素材』, Vol.117, pp.591-598.

## A 変数対応表

表 14: 変数対応表

変数	対応	変数	対応
内生変数		$M_{0k}^L$	鉱石長契輸入量
$X_{1k}$	地金国内生産量	$E_{0k}^L$	鉱石長契輸出量
$E_{1k}$	地金輸出量	$p_{\psi k}$	国内製錬費指数
$M_{1k}$	地金輸入量	$p_{0k}^d$	鉱石国産費用指数
$p_{1k}^m$	地金輸入価格指数	$\bar{X}_{0k}$	年間可能採掘量
$p_1^s$	地金国際価格指数	初期値	
$p_0^s$	鉱石国際価格指数	$P_{1k}^d$	地金国内生産単価
$p_{\phi}^s$	製錬サービス国際価格指数	$P_{1k}^m$	地金輸入単価
$p_{\phi}^{Ls}$	製錬長契国際価格指数	$P_{1k}^c$	地金国内需要単価
$p_0^{Ls}$	鉱石長契国際価格指数	$P_1^s$	地金国際単価
$p_{\phi k}^{mS}$	TC/RC 機会費用指数 (輸入)	$P_0^s$	鉱石国際単価
$p_{\phi k}^{eS}$	TC/RC 機会費用指数 (輸出)	$P_{\phi k}^{mS}$	TC/RC 機会費用単価 (輸入)
$w_{1k}^d$	地金国産率	$P_{\phi k}^{eS}$	TC/RC 機会費用単価 (輸出)
$w_{1k}^{dS}$	地金スポット国産率	$P_{\psi k}$	国内製錬費用単価
$X_{0k}$	鉱石国内生産量	$P_{0k}^d$	鉱石国内生産単価
$D_{0k}$	鉱石国内需要量	$P_{0k}^m$	鉱石輸入単価
$E_{0k}$	鉱石輸出量	$P_{0k}^c$	鉱石国内需要単価
$M_{0k}$	鉱石輸入量	$P_{0k}^{mS}$	鉱石スポット輸入価格単価
$p_{0k}^e$	鉱石輸出価格指数	$P_{0k}^{mL}$	鉱石長期契約輸入価格単価
$p_{0k}^m$	鉱石輸入価格指数	パラメタ	
$p_{0k}^{mS}$	鉱石スポット輸入価格指数	$\alpha_{1k}$	地金国産率関数
$w_{0k}^d$	鉱石国産率	$\beta_{1k}$	地金国産率関数
$M_{0k}^S$	鉱石スポット輸入量	$\bar{E}_{1k}$	地金輸出基準量
$\hat{E}_{0k}^S$	鉱石スポット輸出上限値	$\beta_{1k}^e$	地金輸出価格弾性
$E_{0k}^S$	鉱石スポット輸出量	$\bar{X}_{0k}$	鉱石国産基準量
$p_{0k}^{mL}$	鉱石長期契約輸入価格指数	$\beta_{0k}$	国内鉱価格弾性
外生変数		$\theta_{\phi k}$	RC 比 (対 TC/RC)
$D_{1k}$	地金国内需要量	$\zeta_{\phi k}^U$	RC 連動係数 (上)
$Z_{1k}$	地金備蓄純増	$\zeta_{\phi k}^D$	RC 連動係数 (下)
$e_k$	為替レート	$\xi$	地金期待連動係数
$\tau_k$	関税率	$b_{0k}^C$	限界費用係数
$\gamma_{1k}$	地金国際運賃	$\lambda_{0k}$	推測的変動
$\gamma_{0k}$	鉱石国際運賃		