



## 秋田大学におけるオンライン型教育研究 ～博士課程リーディングプログラム、 国際資源学部と資源経済学～

秋田大学 国際資源学研究科  
安達 毅

## 秋田大学と 資源学の歴史



資源学100年の歴史に裏付けられた教育・研究

明治43年(1910) 秋田鉱山専門学校(採鉱学科、冶金学科)が創立  
(ドイツのフライベルグ鉱山大学をモデルとする)

昭和24年(1949) 秋田師範学校、秋田青年師範学校及び秋田鉱山専門学校を母体として、学芸学部、鉱山学部からなる新教育制度における大学として発足  
鉱山学部：鉱山学科(60名)、冶金燃料学科(50名)、鉱山電機学科(40名)

平成10年(1998) 工学資源学部設置(鉱山学部の改組・再編)

平成24年(2012) 博士課程リーディングプログラムの開始

平成26年4月(2014) 国際資源学部、理工学部を設立

平成28年4月(2016) 国際資源学研究科設立



### Leading Program for Doctoral Course

博士課程教育リーディングプログラム「オンライン型」  
平成24年度採択プログラム(H24～H30)

レアメタル等資源ニューフロンティアリーダー  
養成プログラム  
～国際資源開発人材の実践的育成～

資源学に関する博士課程5年一貫教育

### プログラムの概要

～世界最高水準の資源学教育拠点の構築～

#### 資源ニューフロンティア特別教育コース

新設：博士一貫課程(5年間／年間 定員10名)

地球資源学コース(5名)

資源開発素材コース(5名)

英語による講義

秋田大学大学院  
国際資源学研究科、工学資源学研究科

主要専攻

博士後期課程

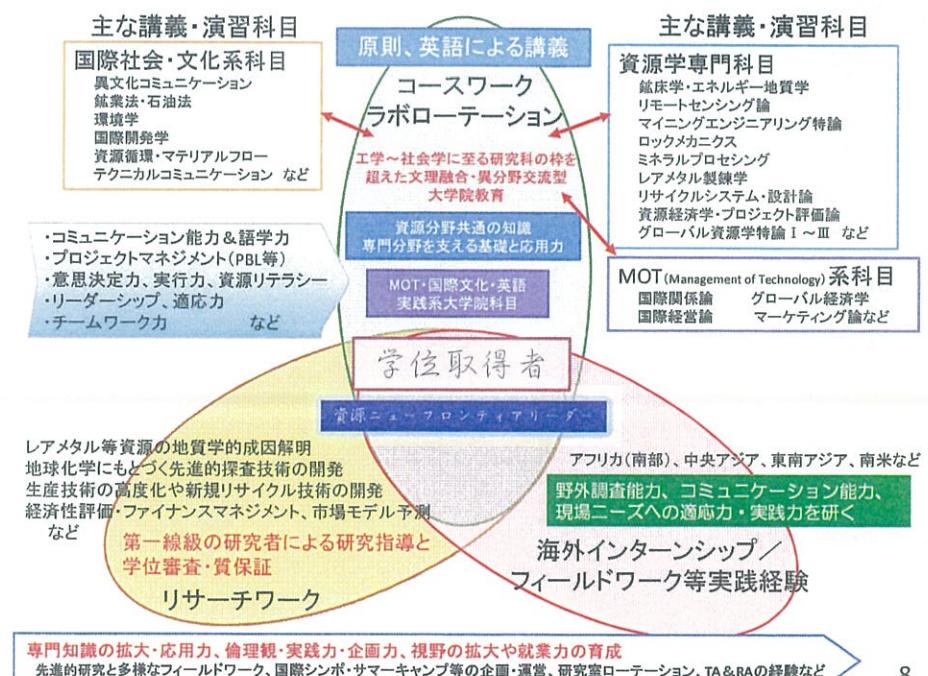
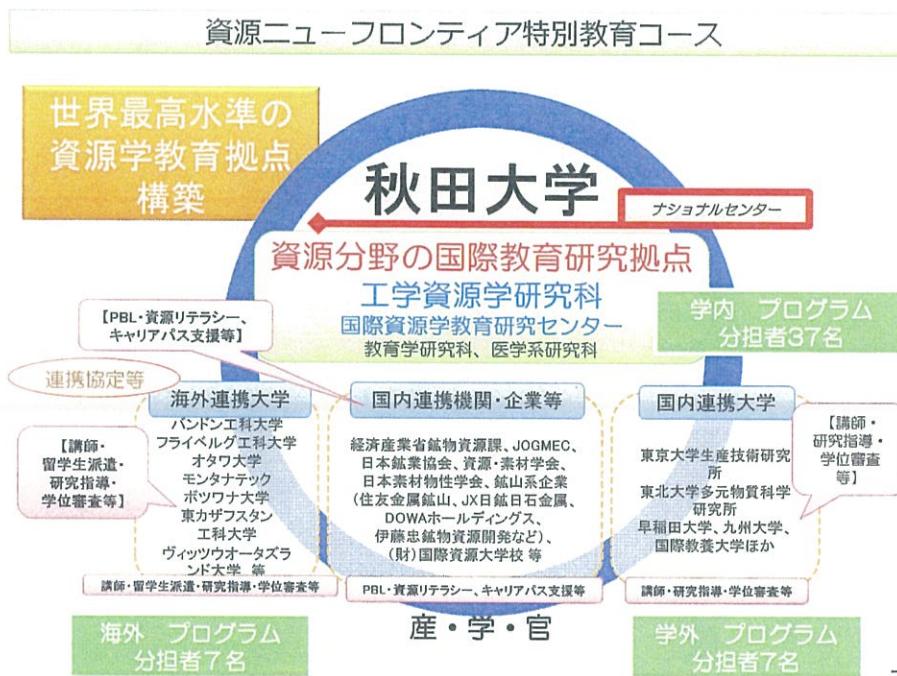
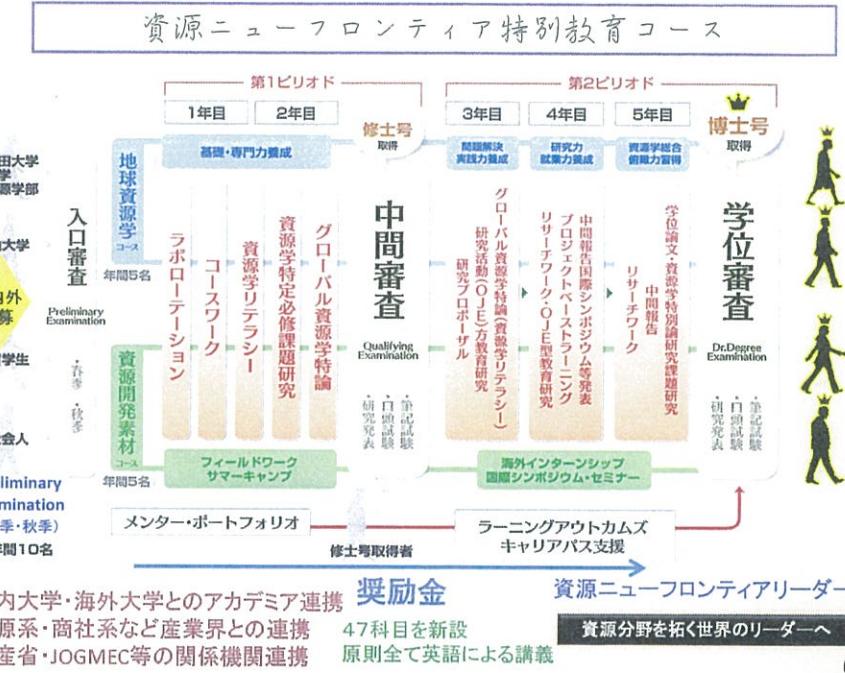
博士前期課程

資源学専攻

旧地球資源学専攻、環境応用化学専攻

学内連携  
(研究科等)

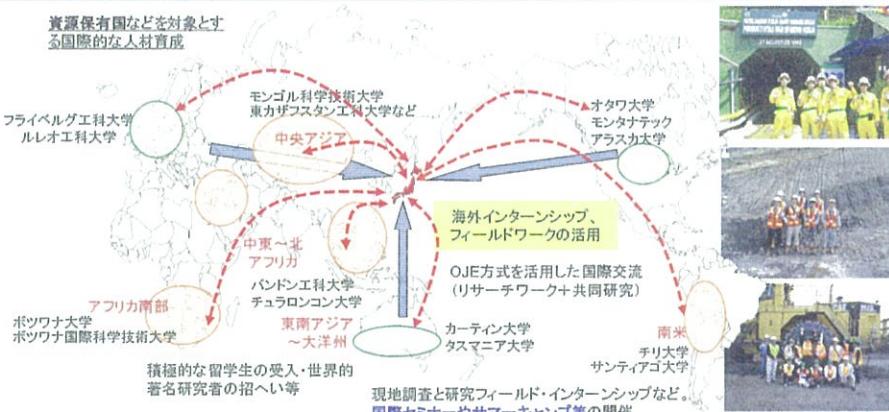
国際資源学教育研究センター、理工学研究科、教  
育学研究科、医学系研究科



Section	Course	
地球資源学科目 Earth Resource Science	グローバルメタロジェニー	Global Metallogeny
	石油地質学特論	Advanced Petroleum Geology
	理論試液化化学	Theoretical Chemistry of Ore Solution
	エネルギー地政学特論	Applied Energy Geopolitics
	資源地質学・鉱床学特論	Advanced Resource Geology / Economic Geology
	解析岩石学特論	Advanced Course for Analytical Petrology
資源開発素材科目 Resource Development & Processing	古環境学特論	Theory of Paleoenvironment
	ミネラルプロセシング	Mineral Processing
	資源のファイナンスと経済分析	Mineral Finance and Econometric Analysis
	岩石力学特論	Advanced Rock Mechanics
	鉱物資源開発特論	Mineral Resources Development
	素材開発精製論	Materials Processing and Refining
特別講義 Special Lectures	3R設計特論	Advanced Theory in 3R Design
	石油貯留層工学	Petroleum Reservoir Engineering
	資源開発工学特論	Advanced course for Mining Engineering
	資源分離プロセス特論	Resources Separation Process Engineering
	金属リサイクル工学特論	Recycling Engineering of Metals
	マテリアルプロセス工学	Materials Processing
	レアメタル製錬学	Rare Metal Refining
	資源環境論	Resources and Environment
	石炭資源生産論	Coal Resources Production
	グローバル資源学特論 I - III	Advanced Global Resource Science I - III
	資源学リテラシー I - II	Resource Science Literacy I - II
	資源ニューフロンティア特論	Advanced New Frontier in Resources

Section	Course	
演習系科目 Seminars	資源学サーキット演習	Laboratory Circuit Training
	フィールドワークプログラム	Fieldwork program
	PBL	PBL
	資源学実践演習	Practical Training of Resource Science
	地域文化比較研究	Cross-cultural Communication
	国際情勢分析論	International Affairs Analysis
社会文化・MOT 系科目 Sociocultural, MOT (Management of Technology) Courses	グローバルコミュニケーション	Global Communication
	資源学コミュニケーション	Resource Science Communication
	マテリアルフローと社会システム設計	Material Flows and Social System Design
	国際経営論	International Business
	開発と資源ガバナンス	Development and Resource Governance
	マーケティング論	Marketing
	国際資源論	Recent International Issues on Mineral Resources
	エネルギー政策論	Energy Policy
	鉱物資源政策論	Mineral Resource Policy
	契約と鉱業法・石油法	Contract and Mining/Petroleum Law

## 「レアメタル等資源ニューフロンティアリーダー養成プログラム」国際展開図



### 海外インターンシップ・フィールドワーク派遣先

(具体例: 鉱物・石油資源等の地質・金属鉱床調査、現地鉱山等での実習など)

オーストラリア Newcrest Mining社 (Cadia鉱山)

スウェーデン Boliden社 (Aitik鉱山, ほか北欧諸国)

フィリピン Philex Mining社 (Santo Tomas II鉱山)

インドネシア Lepanto Consolidated Mining社 (Lepanto Victoria鉱山)

タイ Newman Nusa Tenggara社 (Batu Hijau鉱山)

タイ Akara Mining社 (Chatree鉱山)

### OJE (On the Job-Education) 方式による実践教育研究

モンゴル Erdenet社 (Erdenet鉱山)

オーストラリア Oyu Tolgoi社 (Oyu Tolgoi鉱山)

ボツワナ リンボボ変動帯でのレアメタル等地質調査

カザフスタン ゼルビイビケ選鉱製錬所(短期実習)

アルタイ地域の地質調査

低品位・尾鉱からの金属回収研究

南アフリカ 鉱山研修、探査研修

## プログラムコース生の推移

現コース生数	
M1	6
M2	5
D1	6
D2	4
D3	6
計	27

(年度)	24	25	26	27	28
在籍学生数	3	10	15	21	27

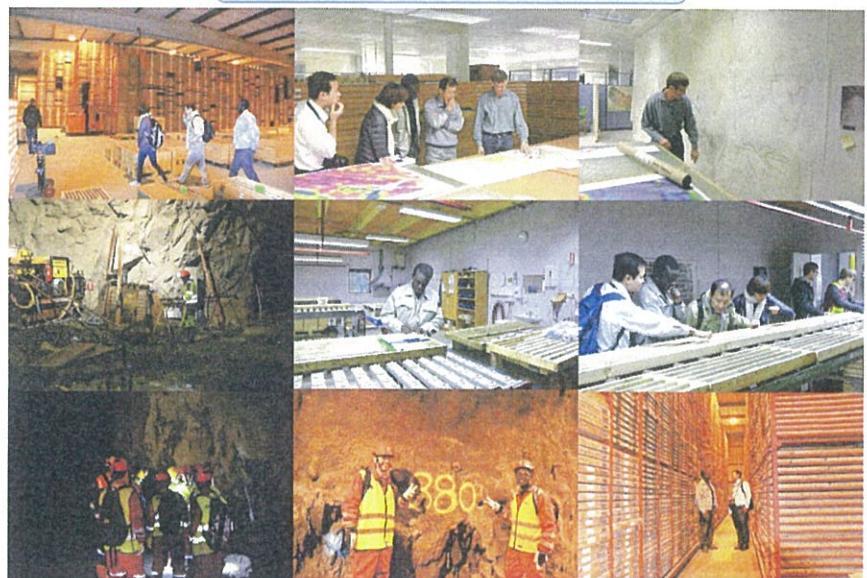
インドネシア、モンゴル、フィリピン、中国、ベトナム、タイ、アフガニスタン、  
ボツワナ、マラウイ、ケニアなどからの留学生

## Laboratory Rotations



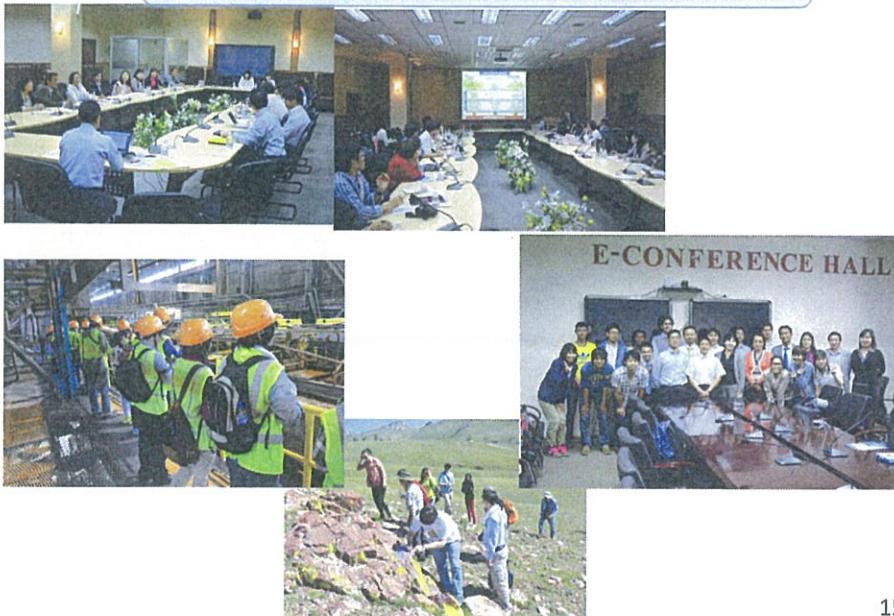
13

## International Fieldwork



14

## Summer Camp 2013 in Mongolia



15

## Leading Program Summer Camp June ~ July 2014, Freiberg, Germany



# Promoting global career path for students

## Project-Based Learning LP-SAM

### Special Lecture from

- ◇ Private Companies
- ◇ Government Administrator
- ◇ Overseas Universities

## Symposium and Forum

Annual Regular Symposium  
International and Domestic

2012 1<sup>st</sup> Symposium  
2013 2<sup>nd</sup> Symposium  
International Workshop  
Joint Forum  
2014 3<sup>rd</sup> Symposium  
International Symposium in  
Tokyo and Akita  
Joint Forum  
2015 International Symposium in  
Akita  
Joint Forum

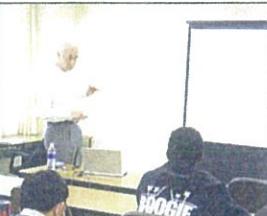
## Special Lectures



Prof. F. Cawood,  
University of the Witwatersrand,  
Johannesburg, South Africa



Prof. P. Mercier-Langevin  
Geological Survey of Canada,  
Canada



Prof. T. Nakamura  
Tohoku University,  
Japan



Prof. J. Yamamoto  
Tokyo University,  
Japan



Prof. S. Murahami  
Tokyo University,  
Japan



Prof. T. Yeh  
Abita International University,  
Japan

## LP-SAM

(Leading Program - Student Activity Meeting)



## International Workshop



## 卒業・修了生の姿と将来を担う国際資源開発人材への期待

### ■ 卒業・修了生の姿と効果

21世紀の資源開発人材を担う学部・大学院教育  
資源分野を担う高度人材育成とリーディングプログラム  
資源リーダーとしての活躍、世界規模での資源開発・資源循環への貢献

### ■ 教育プログラムの成果と将来への期待

#### 資源学の拠点形成と「国際資源学」の創設

我が国「資源学」の発展と高度技術者・研究者の養成  
資源確保に資する“国際資源開発人材”ネットワークの構築

## 国際資源学部の概要

2014年4月設立

世界の資源フィールドで活躍できる世界レベルの資源学を展開

資源生成メカニズムの解明から探査・開発までを体系的かつグローバルに活躍できる人材の養成

世界的資源戦略において、国際的企業・国際機関のあらゆるセクションで即戦力として活躍できる資源スペシャリストの養成・輩出

#### MISSION

グローバル資源人材 --- 養成する人 身に着ける力  
材像

最先端の資源科学技術

+

国際舞台での資源政策判断力

21

## 国際資源学部 国際資源学科

資源政策コース  
学生30名/年  
12名の教員

国際資源分野において求められる『人文社会系・技術系パッケージ型教育』を展開しグローバル資源人材の養成を実現

資源地球科学コース  
学生35名/年  
13名の教員

資源開発環境コース  
学生50名/年  
12名の教員

#### 資源政策コース

文系

世界の資源情勢を正確に分析・考察する力や資源国との交渉力を身に付けた資源戦略を担う人材を養成します。

- 資源・開発の経済や国際情勢の理解
- 資源国の法制度や政治制度
- 資源探査開発に関わる交渉学
- 資源開発地域の歴史・文化・宗教

#### 資源地球科学コース

理系

世界を対象にした資源分布の予測と新たな地球資源の可能性を探求する最先端地球科学分野の技術者・研究者を養成します。

- 資源分布の予測
- 新たな鉱山資源の探求
- 最先端地球科学からの地球史解析
- 資源生成システムの解明

#### 資源開発環境コース

理系

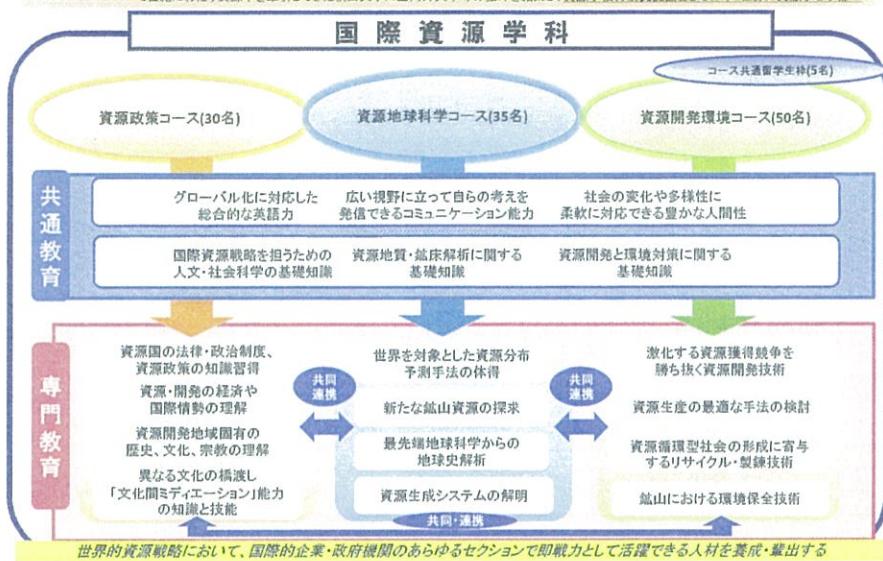
限りある地球資源を持続的かつ有效地活用するため、地球環境に配慮した資源開発と資源循環系社会の形成に寄与できる技術者・研究者を養成します。

- 資源開発技術
- 資源生産の最適手法
- リサイクル・製錬技術
- 鉱山における環境保全技術

# 秋田大学 国際資源学部

課題と  
社会的ニーズ

国内資源学教育の現状は、資源系学科の再編・縮小により資源分野を網羅する一貫教育が困難な状況にかつ、海外に偏在する資源の獲得・開発や研究を担う国際感覚を持つ人材の養成が急務  
1世纪にわたり資源学を牽引してきた秋田大学に国内外大学等の強みを結集し、資源学教育研究拠点として日本・世界に貢献する学部へ



世界的な資源戦略において、国際的企業・政府機関のあらゆるセクションで即戦力として活躍できる人材を養成・輩出する

## 3 英語による専門教育

国際資源学部では、外国人教員や留学生との交流、研究成果の国際学会での発表など、日常的に英語が行き交うグローバルな環境を提供します。1・2年次の英語特別教育プログラムI-EAP(集中大学英語)で英語の基礎力を養い、2年次以降の専門教育科目はすべて英語で行います。

## 4 海外での資源学実習を必修化

海外の資源開発最前線で見られる様々な課題を理解し解決する実践能力を身に付けるため、約4週間海外で実習を行ない「海外資源フィールドワーク」を全学生必修とします。事前・事後学習の「国際資源クリエイティブ演習」と合わせ、4年次の卒業課題研究へつなげます。

## 5 最先端資源学研究

国際資源学部では、第一級の研究設備を有しており、学生は指導教員の下で自由に最先端研究設備を使用できます。また、教員は海外の研究者と連携しながら最先端の研究を行い、常時国際誌へ発表しているため、学生はこれら先端研究の成果をリアルタイムで聴講できます。

## 5 Key Features

Faculty of International Resource Sciences,  
AKITA UNIVERSITY

### 1 世界の資源学をリードする教授陣

秋田大学には、専門技術、国内外での人脈の蓄積を基とした資源生成メカニズムの解明から資源探査、開発・生産までを国内外で唯一体系的に一貫して学べる基盤があります。国際資源学部では、世界の第一線で活躍する研究者や技術者を結集し、資源学教育の国際拠点をめざします

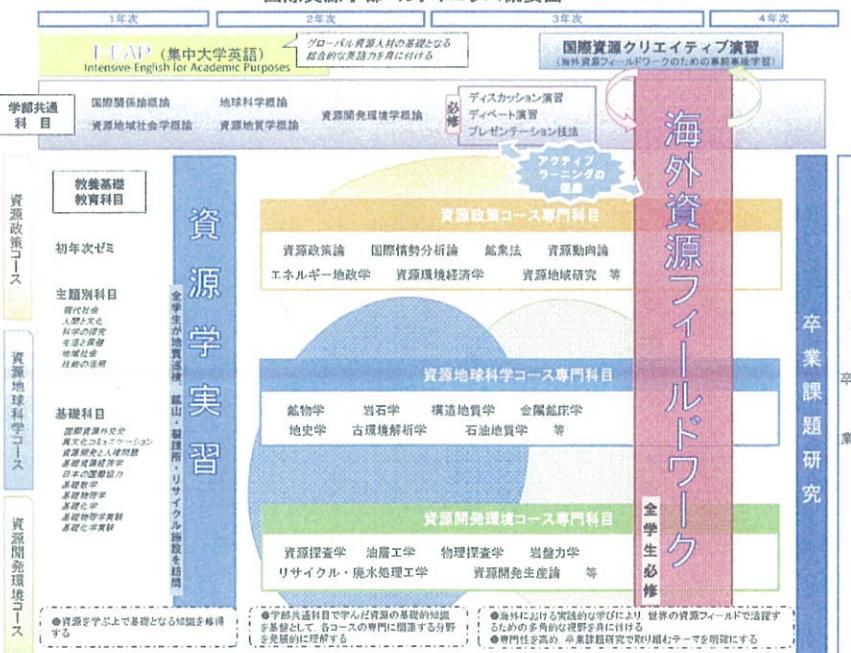


### 2 文理融合による資源学教育

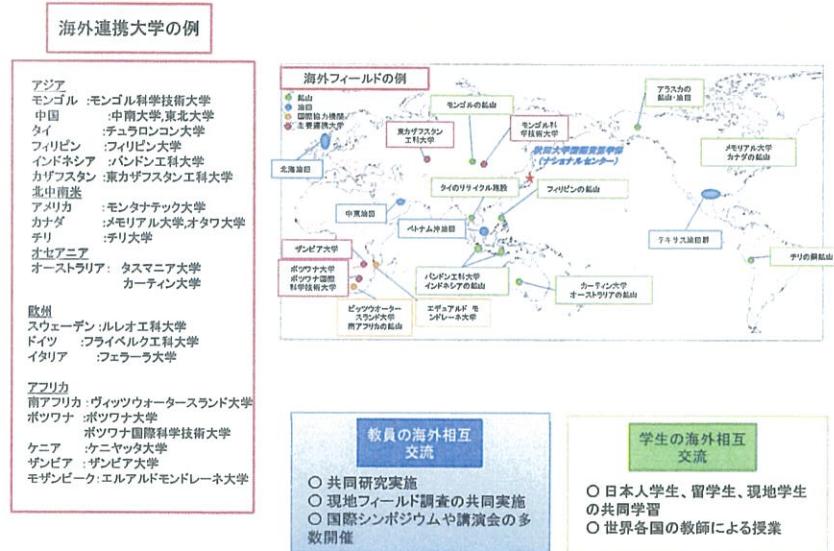


国際資源学部は、文系と理系(理学系、工学系)の3つのコースから構成されますが、それぞれの分野は互いに密接に関係しています。資源経済を理解する資源地球科学技術者、地理の歴史を概観できる資源政策スペシャリストのような、互いの専門を履修できる文理融合カリキュラムとなっています。

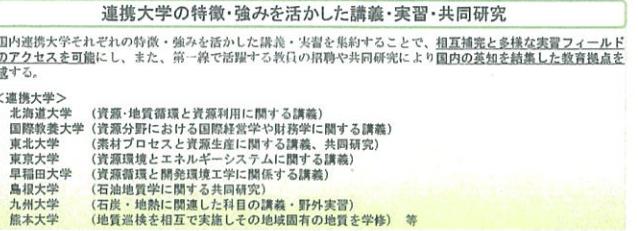
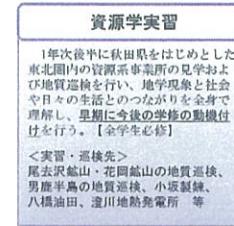
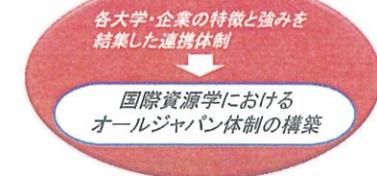
### 国際資源学部 カリキュラム概要図



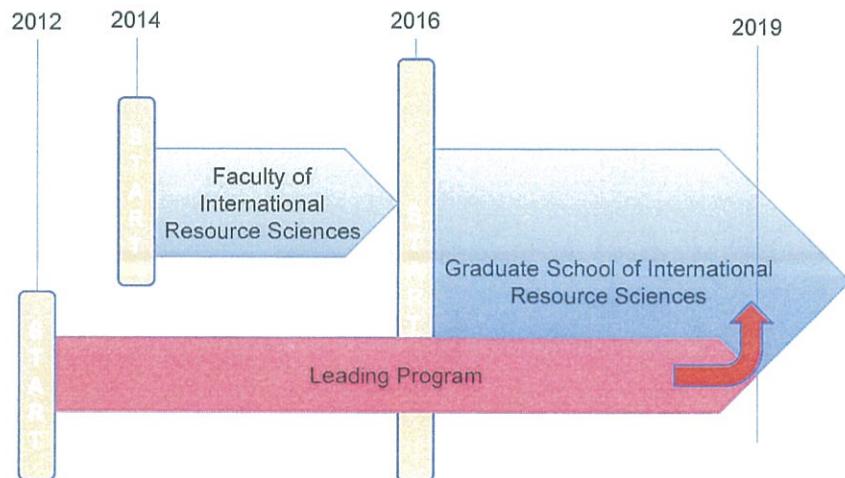
## 国際資源学部 海外連携展開図



## 国際資源学部 国内連携展開図



## Leading Program and Graduate School of International Resource Sciences



## その他、関連するプログラム

- ショートステイ(SS)プログラム 4週間の短期研修  
「持続可能な資源開発」(毎年10月に開催)
  - 東南アジア諸国に加えてアフリカからボツワナ、モザンビークから受け入れ
- 年に2~4回程度、資源に関する国際シンポジウムを開催
- 奨学金制度の充実
  - リーディングプログラムの奨励金
  - JICA “資源の絆”プロジェクト
  - JICA “アフリカの若者のための産業人材育成イニシアティブ(ABEイニシアティブ)”

## 日本の資源系大学と資源国との関係

- 日本の大学にとって海外の資源国との連携は、教育、研究のフィールドを持つことになり、意義は大きい。
- 実験装置の選定・活用、資源教育への貢献、資源系人材の育成、環境配慮型の研究、資源ガバナンス・プロジェクト評価などの面で、日本の大学が資源国に貢献できる点も多数ある。
- 互いに利益を得られる関係の構築は非常に魅力的である。
- 長期的視点からの人材育成と交流を通じて、世界の持続可能な資源供給に貢献する。

## 安達研究室 [資源経済学]

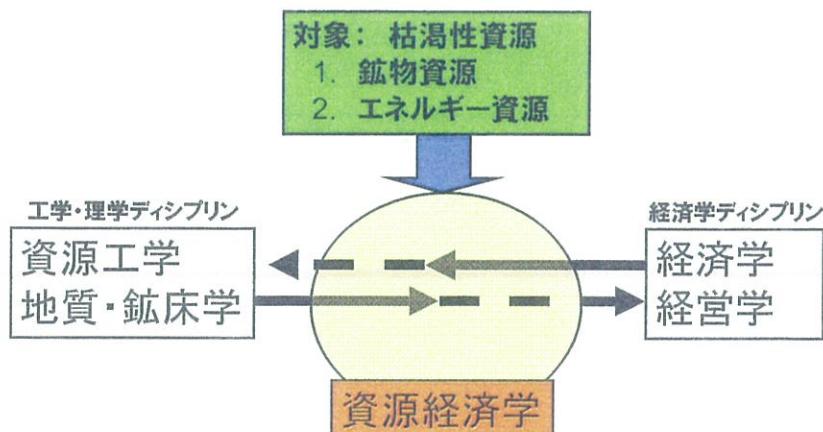
### ～持続可能な資源供給を考える～ 資源の市場、供給の持続可能性と環境負荷

#### 研究指針

持続可能な社会を達成するには、資源問題を考慮した需給や価格の分析、開発時の環境破壊の評価など確かな研究をもとにした提言が欠かせない。

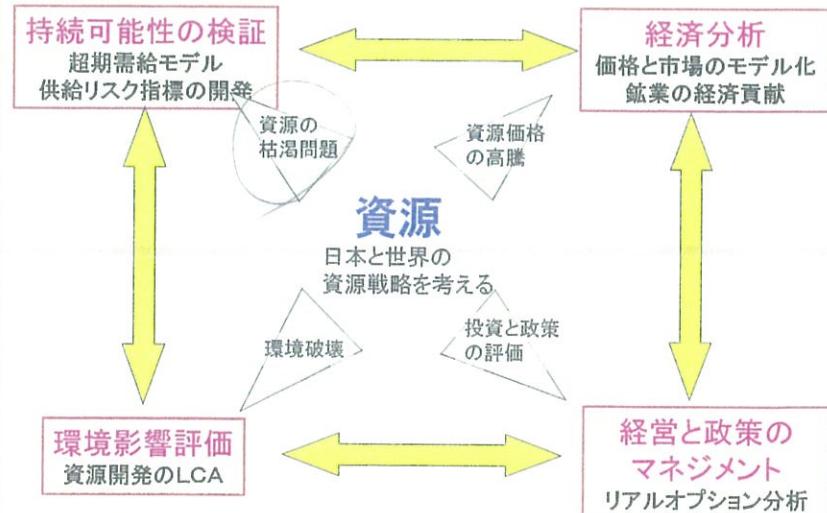
安達ゼミでは、資源経済学の観点から、資源の供給・消費・リサイクル・廃棄までのライフサイクルにおける、さまざまな社会・経済・環境にかかる課題について取り組んでいる。資源に関する理系の知見を生かして、経済学・金融工学・システム工学の手法を用いたモデル化による評価を進めています。

## 資源経済学(Mineral Economics)とは

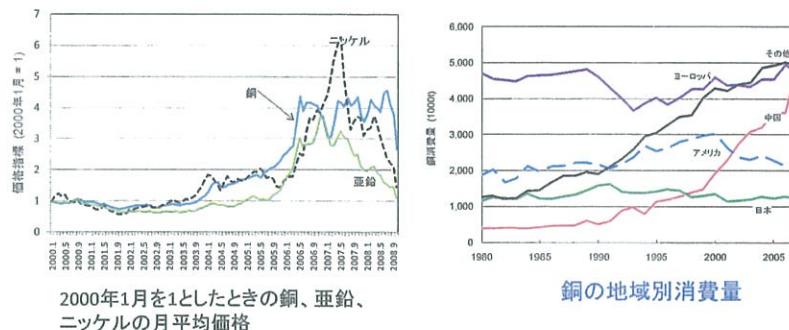


資源経済学は、鉱産物の発見、採掘、製錬、利用、リサイクル、廃棄に関する経済と政策の問題について研究・教育に携わるディシプリンである。

## テーマの相関



# 金属資源市場の需給と 価格モデルの開発

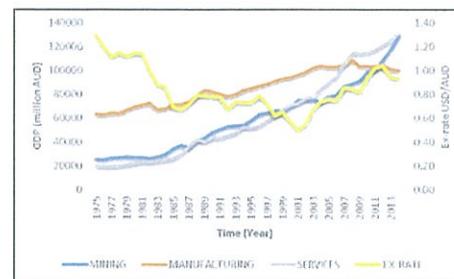


$$\Delta \ln Q_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta \ln P_{t-1} + \beta_2 \Delta \ln Y_{t-1} + \beta_3 \Delta \ln Q_{t-1} + \beta_4 ECT_{t-1} + \nu_t$$

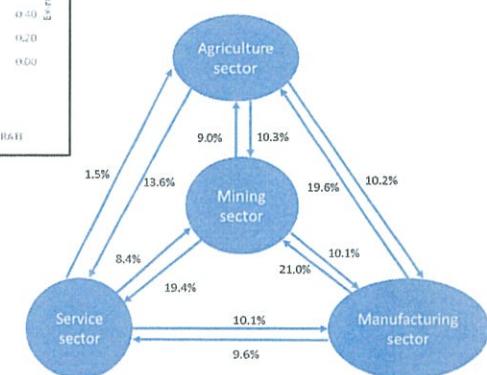
$$ECT_t = \ln Q_t - \alpha_0 - \alpha_1 \ln P_t - \alpha_2 \ln Y_t = \varepsilon_t$$

Q:需要、P:実質価格、Y:実質GDP

# 資源国における鉱業が経済全体に およぼす影響の分析

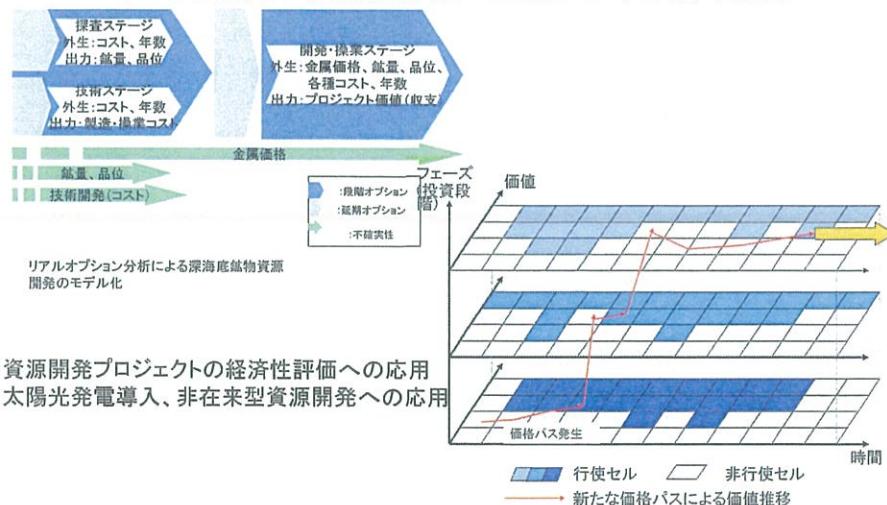


オーストラリアにおける産業部門間の影響度

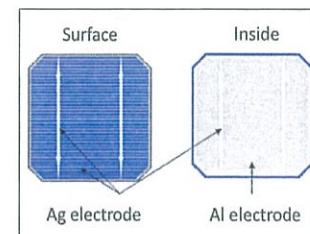


# リアルオプション分析による 開発投資と政策の評価

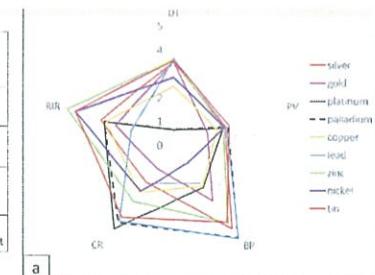
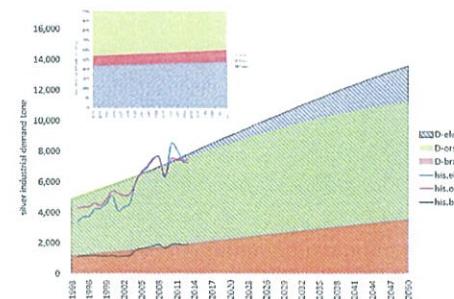
## プロジェクト投資の経済性評価へ金融工学の手法の応用



# 太陽光発電に使われる 銀の供給リスク分析



Risk Indicators(RI)	Definition	Signification
Depletion Time (DT)	$\frac{R_f}{P_f}$ : Reserve divided by annual mining production	Depletion time of resource
Price Volatility (PV)	$\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n P_t^2}{n-1}}$ : Standard deviation of price change ratio	Price stability
By product ratio (BP)	$P_{by}/P_f$ : By-product divided by total production	Supply elasticity
Concentration Ratio (CR)	$HII[1]$ : Sum of square of production share (1-100) by country	Market competition
Recycling Input Rate (RIR)	$P_f$ : Annual production from old scrap in total input	The possibility of sustainable development



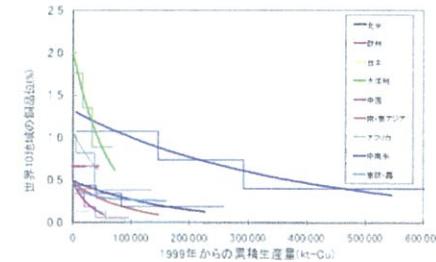
## 鉱物資源の持続可能性を評価する 長期グローバルモデルの開発

## エネルギー消費を考慮した 長期鉱物資源モデルの開発

エネルギー・資源学会 平成28年度論文賞受賞

## 研究背景

- 資源供給の持続可能性を評価するには、各種制約を包括的に加味した長期需給予測が非常に重要
- 金属資源の資源制約：鉱石品位の低下
- 品位低下は金属生産のエネルギー消費が増大し、エネルギー面からの制約につながる可能性がある
  - エネルギーモデルとの連携が必要



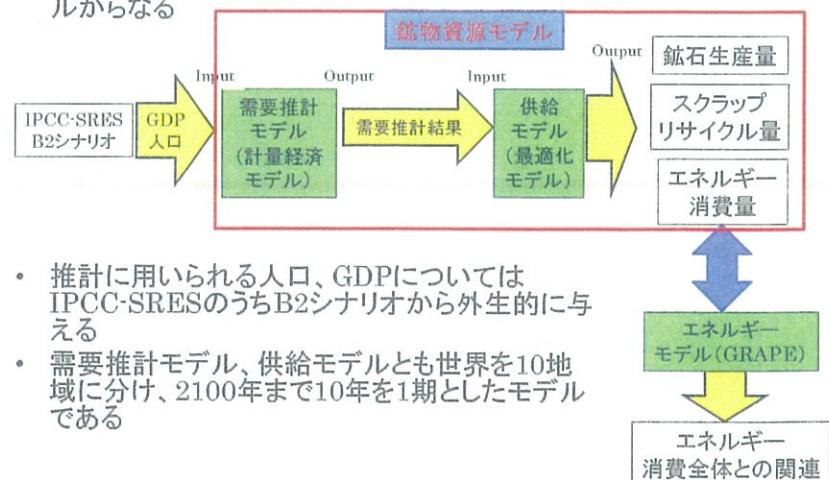
エネルギーに関する長期需給モデルは多数存在するが、  
鉱物資源モデルは非常に少ない

## 研究目的

- 銅・亜鉛・鉛の3金属を対象とした長期鉱物資源需給グローバルモデルの開発を行い、長期的な供給の持続可能性を評価する
- 鉱石品位の低下に伴うエネルギー消費量に増加についても推計を行う

## 鉱物資源モデルの概要

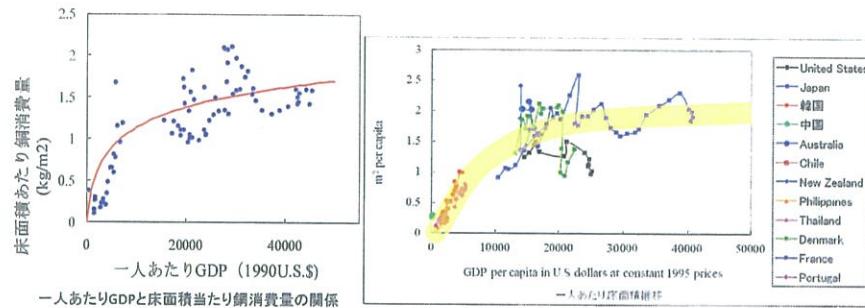
- 鉱物資源モデルは需要推計モデルと供給モデルからなる



- 推計に用いられる人口、GDPについてはIPCC-SRESのうちB2シナリオから外生的に与える
- 需要推計モデル、供給モデルとも世界を10地域に分け、2100年まで10年を1期としたモデルである

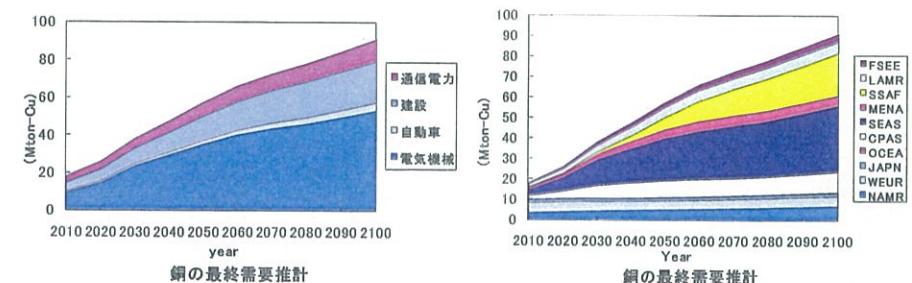
## 使用強度の導出例

- ・ 使用強度とは：一人当たりGDPと金属消費量の関係
- ・ 主に日本のデータを基に、製品の性質に合わせた使用強度を推定



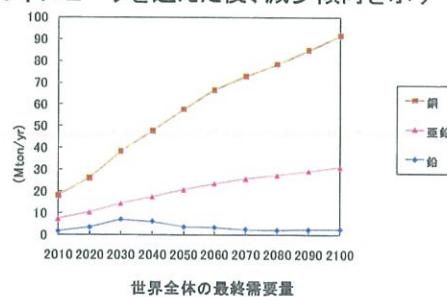
## 需要推計モデルによる推計結果(銅)

- ・ 最終需要は2100年まで増加を続け、2100年の時点で2010年の5倍程度になる
- ・ 需要の伸びが著しい地域はその他アジア(インドを含む)とサハラアフリカ(アフリカ中南部)であり、中国の需要は2030年以降の増加は少ない



## 需要推計モデルによる推計結果

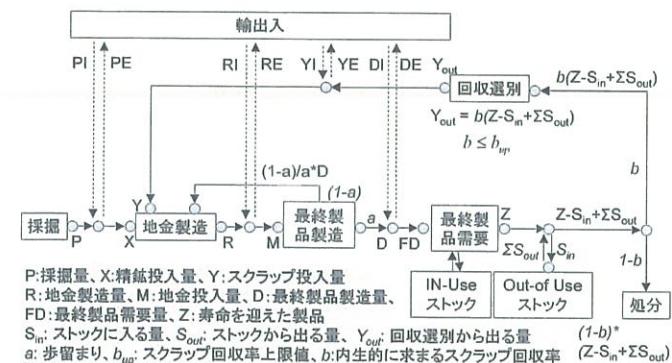
- ・ 資源別の需要推計結果
  - 銅、亜鉛は需要が時間の推移とともに増加、特に銅の需要は急増する
  - 鉛は2030年にピークを迎えた後、減少傾向を示す



- ・ 供給モデルに、この需要の推計結果を地域別に外生的に与え、天然資源・リサイクルの生産量を決定する

## 供給モデルの概要

- ・ 供給モデルは費用最小化の「線型最適化型」モデル
- ・ 目的関数、制約式はマテリアルフロー図に基づいて作製した
- ・ 鉱山データベースや統計のデータを用いて、各プロセス段階でのパラメータを設定した



## 目的関数と制約式

- 目的関数は各プロセスにおけるコストの合計を最小とするよう設定

$$\text{Min } \sum [DF \times TC]$$

$$TC = \sum_{\text{region}} MC$$

TC:総コスト DF:割引率  
MC:プロセス全体のコスト

- 制約式として24種の一次式を地域別に設定
  - 主な制約式の例

・累積鉱石生産量制約式

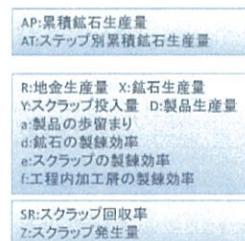
$$AP = \sum_{\text{step}} AT(\text{step})$$

・地金生産量バランス式

$$R = d \times X + c \times Y + f \times \frac{(1-a)}{a} D$$

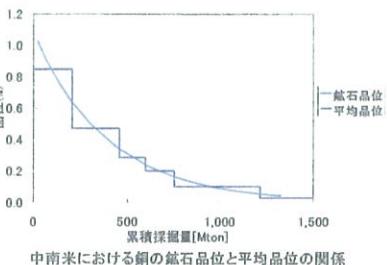
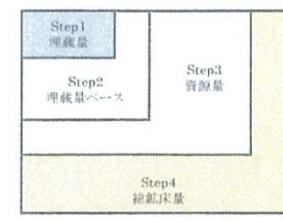
・スクラップ回収率

$$SR = \frac{Y}{Z}$$



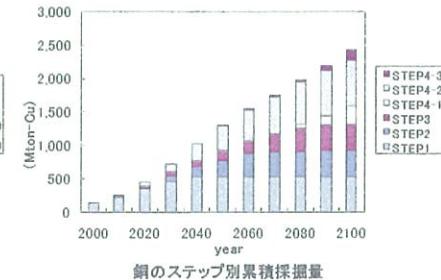
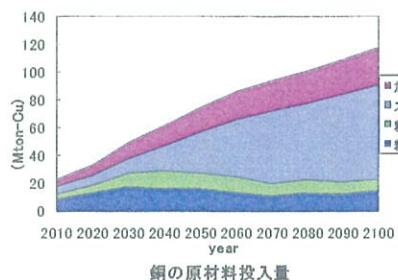
## 鉱石品位と累積採掘量の関係

- 各地域の鉱石品位と累積採掘量の関係に応じてstep1(現時点での平均品位)からstep4(平均品位0.1%)の4段階に分ける
  - 銅はstep4を更に3ステップに細分化
- 同じステップ内では鉱石品位は一定とし、採掘が進行し累積採掘量が一定量に達したときに、次ステップへ移行し品位が低下する
- 各ステップの鉱石量はそれぞれ埋蔵量、埋蔵量ベース、資源量、総鉱床量(最小下限品位)とする



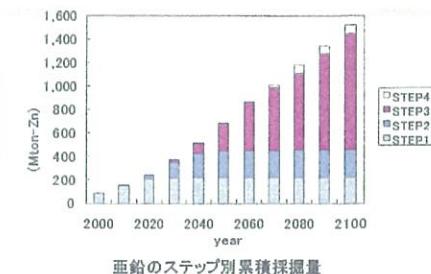
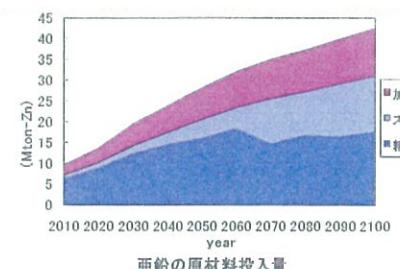
## 供給モデルによる推計結果(銅)

- 精鉱(天然資源)投入量は2030年をピークに減少し、その後はスクラップのリサイクルで需要がまかなわれる
- 鉱石品位は、2020年の時点でステップ4-2(鉱石品位0.1%)に移行する地域が早くも現れる
- 需要の増大から鉱石品位が低下速度が速いため、銅の需要はリサイクルを主としなければならない



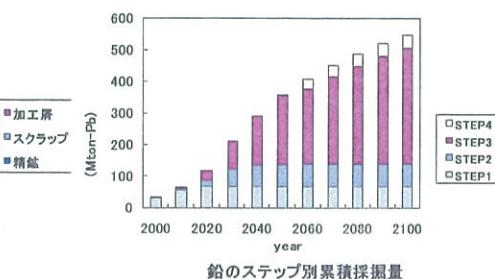
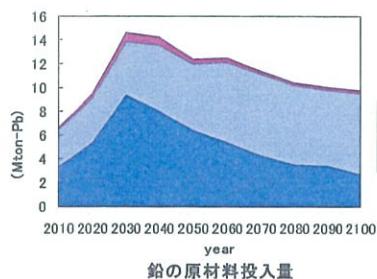
## 供給モデルによる推計結果(亜鉛)

- 精鉱投入量は2060年にピークに達するが、それ以降も原材料への投入量はスクラップよりも精鉱の方が多い
- リサイクルが困難な用途が多いいため
- 鉱石品位は2030年以降ステップ3に、2070年以降ステップ4に移行する地域が現れる



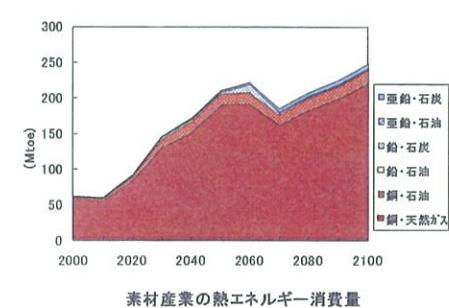
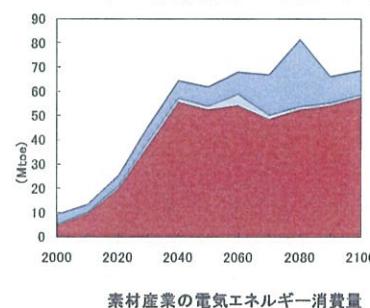
## 供給モデルによる推計結果(鉛)

- 精鉱投入量は2030年にピークとなり以降は減少する推計結果となった
  - 鉛の需要量の減少とリサイクル技術がすでに確立されていることが要因
- 鉱石品位の低下は2060年以降に生じている



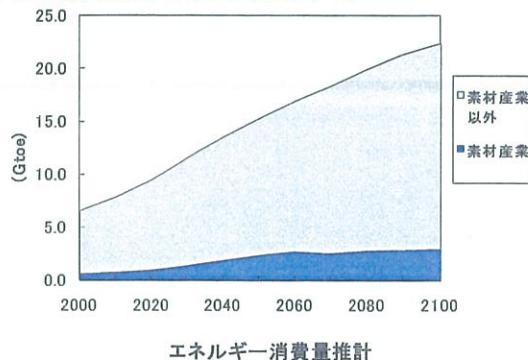
## エネルギー消費量の推計結果

- 電気エネルギー、熱エネルギーともに銅の消費量の増加が著しい
  - 特に品位の低下する2020年頃から20年間エネルギー消費量は急激に増加する傾向がみられる
- 亜鉛についても鉱石品位の低下する2070年頃からエネルギー消費量が増加する



## エネルギー消費量全体との比較

- 素材産業のエネルギー消費量推計は2060年頃まで増加を続け、それ以降はほぼ一定という結果になった
- 素材産業のエネルギー消費量は全体のエネルギー消費量のおよそ1割を占めるまで増加する



## まとめ

- エネルギー消費を考慮した長期鉱物資源モデルを開発し、資源制約を包括的にとらえた銅・鉛・亜鉛の長期的な供給の持続可能性を評価した
- 銅に関しては、需要の増大により採掘による鉱石品位の低下が著しく、スクラップからのリサイクルが大幅に増大する
- 亜鉛に関しては、リサイクルできる用途の少なさから天然資源への負担が大きいものの、銅よりも現状の鉱石品位が高く、将来的に品位低下に応じた資源開発が可能ならば、需要の増加と比較して資源量には少し余裕がある
- 鉛に関しては、鉱石品位が大きく低下する前に、需要量が低下するため、必要量を長期にわたり確保できる。ただし、電気自動車への移行が進まなければバッテリーのリサイクルに大きく依存する
- 金属生産のエネルギー消費量は品位の低下によって銅のリサイクルが本格化する時期まで増加し、最終的には素材産業で消費されるエネルギー量が全エネルギー消費量のうち1割を占めるほどに増加する