

環境研究総合推進費 3K163001

# 循環型社会形成に関わる 新たな評価指標と指標体系

立命館大学 橋本征二

(研究実施期間：2016～2018年度、累積予算額：44,531千円)

## 研究の背景

### □ 第4次循環基本計画(2018年春に策定予定(研究開始時))

- 循環型社会形成推進に向けた循環指標の更なる改善の必要性

### □ 指摘されている改善点

※公募要領における行政ニーズ「新たな物質循環評価指標・手法の設計」等をもとに作成



①物質フロー指標と取組指標の関連づけなされておらず、指標の過不足等が見えにくいことから、いくつかの視点に基づく**指標全体の整理・再構築**が必要

②ストックを有効に活用する**ストック型社会に向けた取組み**が益々重要となっており、その進捗を計測する指標が必要

③**個々の主体による資源生産性向上に向けた取組み**(例えば、製造業における取組み)を評価していくための適切な指標が必要

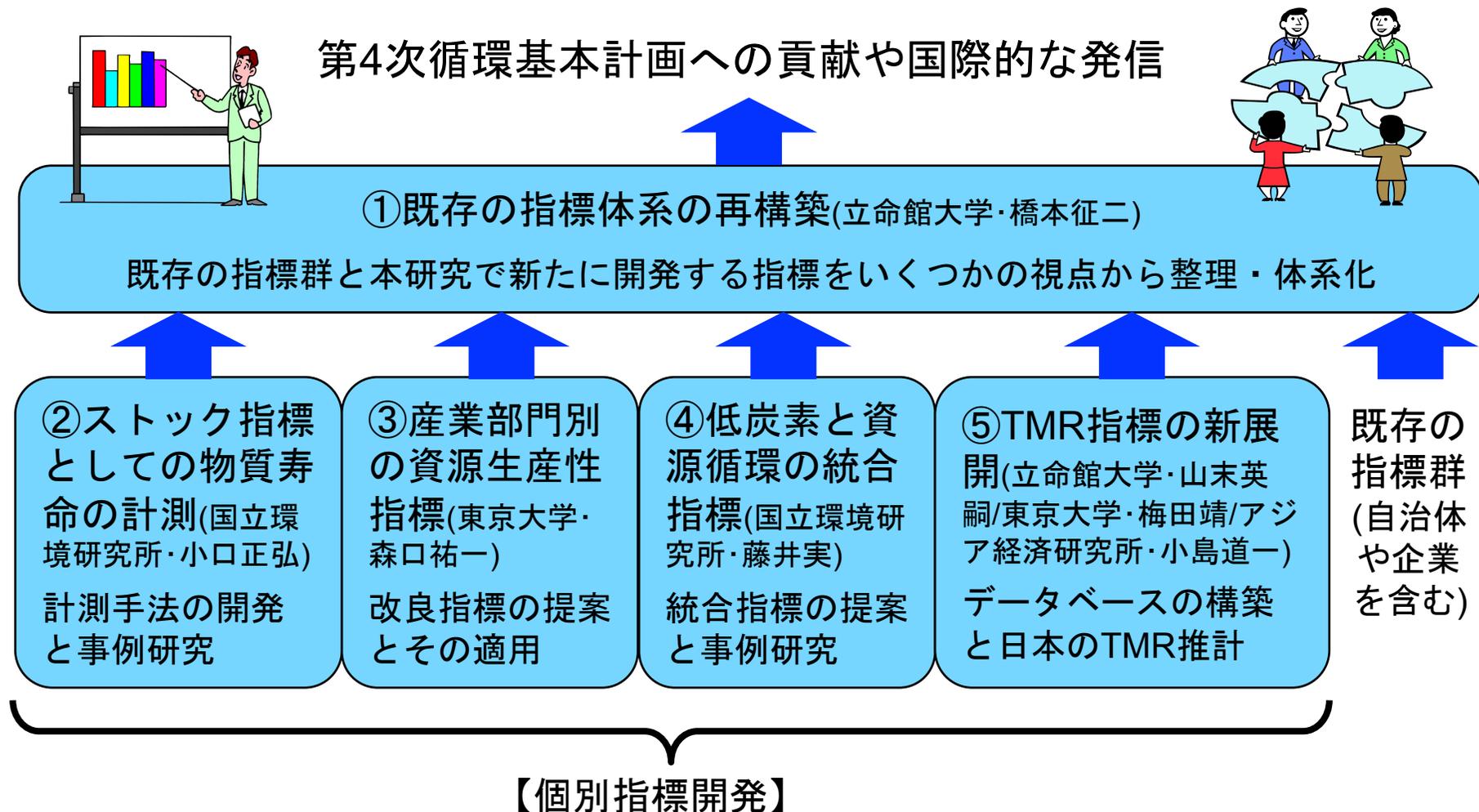
④**低炭素と資源循環などの異なる分野の取組み**を統合ないしは両立していくことが求められており、そのための適切な評価指標が必要

⑤**間接的な資源消費も含めて資源に依存しない社会づくり**を推進していくための指標が必要



# 研究の目的

## □ 研究の構成と体制



## ①既存の指標体系の再構築(立命館大学)

### □ 成果

いずれも第4次計画で採用または反映

#### 1) 第3次循環基本計画における指標体系の課題を整理し対応策を提案

##### ①政策と指標を関連づけること

第3次計画では 対応なし  第3章「循環型社会形成のための指標及び数値目標」  
第4・5章「各主体の役割」「国の取組」

##### ②「物質フロー指標」と「取組指標」を関連づけること

第3次計画では「取組」がどう「物質フロー」を変えるのかの対応なし

##### ③国際発信に留意して日本の他の制度を見える化すること

廃掃法、資源有効利用促進法、各種リサイクル法等における指標の取り込み

##### ④「物質フロー指標」と「取組指標」を区別すること

第3次計画では「取組指標」中に「物質フロー指標」と考えられるもの有り

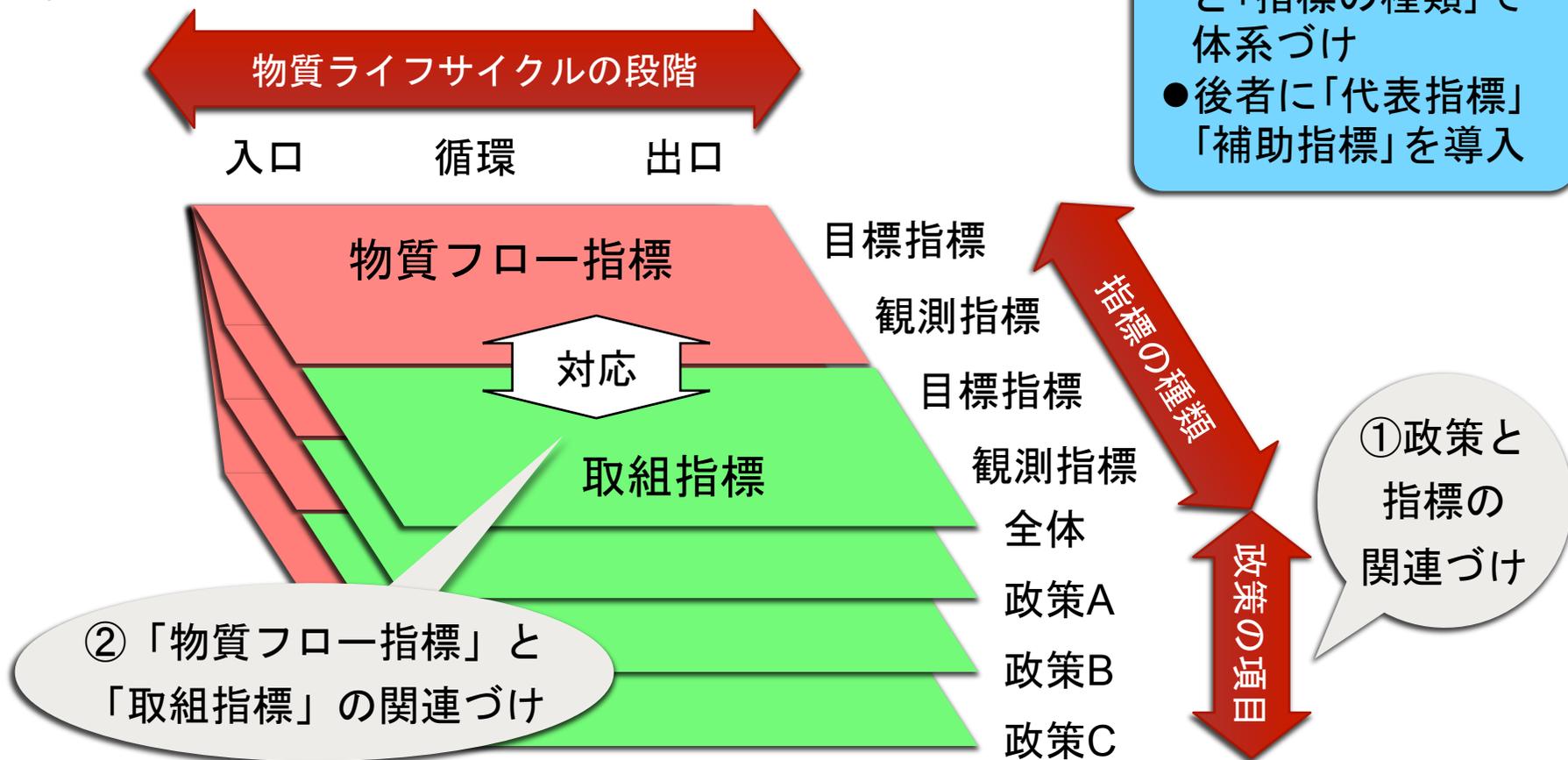
##### ⑤SDGsにも対応し国際比較可能性に留意すること

特に「目標12. 持続可能な生産消費形態を確保する」に関連する指標

# ①既存の指標体系の再構築(立命館大学)

## □ 成果(続き)

### 2) 指標体系と具体的な指標を当てはめた案を提案



# ①既存の指標体系の再構築(立命館大学)

## □ 成果(続き)

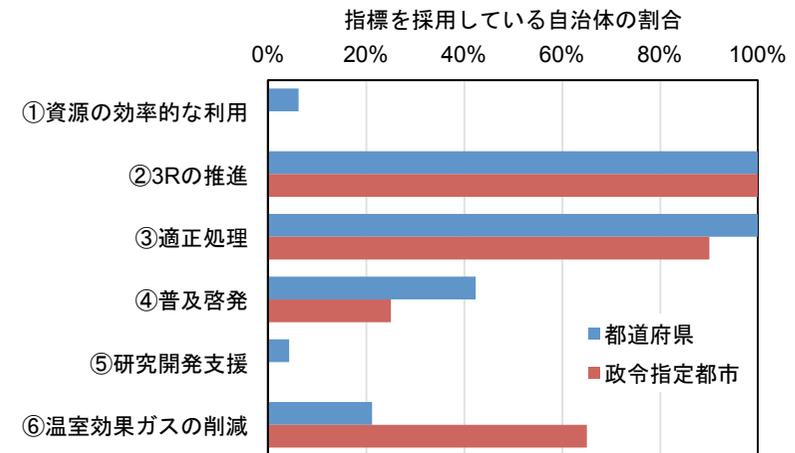
### 3) 自治体の計画で使用されている指標のデータベースを作成

- 抽出された指標は1600以上
- これをデータベースとして公開することで、自治体の担当者が活用可能に

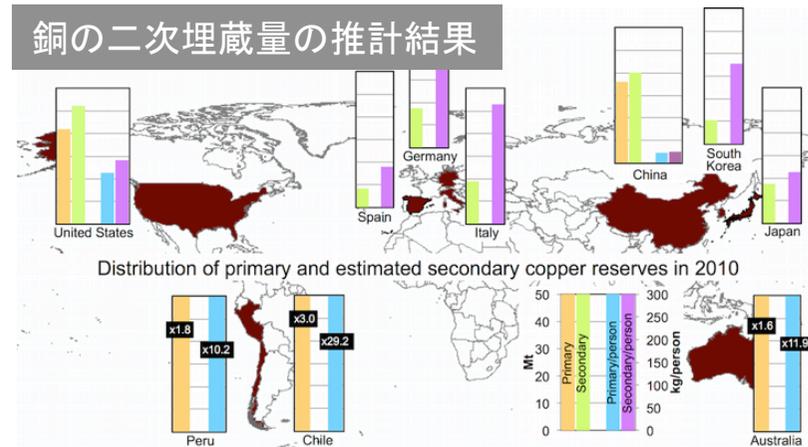
### 4) 二次資源の埋蔵量・ストック利用効率等のストックに関連する個別指標の適用可能性を検討

- 二次資源の埋蔵量については、銅・アルミ・亜鉛・白金を例に適用可能であることを提示

### 分野ごとの指標の採用率



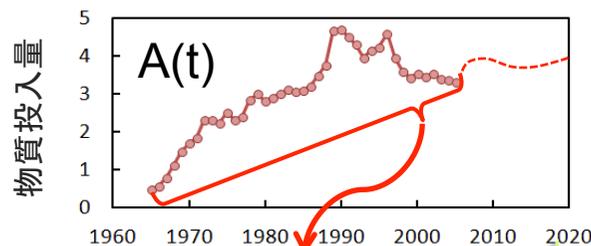
### 銅の二次埋蔵量の推計結果



## ②ストック指標としての物質寿命の計測(国立環境研究所)

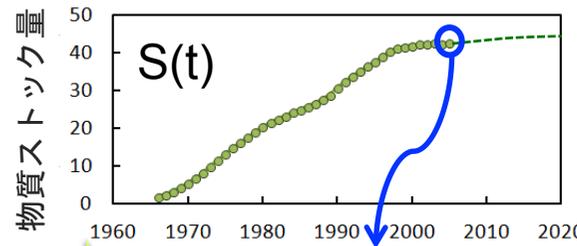
### □ 成果

1) 社会における「物質利用時間(物質寿命)」を計測する手法を開発



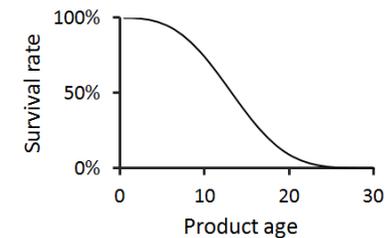
物質ストック量の推計値  
(トップダウンによる推計)  
 $S(t) = \sum \{A(t-j) \times R(j)\}$

一致する  
ように  
 $R$  を決定



物質ストック量の推計値  
(ボトムアップによる推計)  
 $S(t) = \sum \{\alpha_i(t) \times I_i(t)\}$

寿命分布  $R(j)$   
(残存割合分布)



2) 使用データにもとづき計測される「物質利用時間(物質寿命)」を4つに類型



① 新材投入から再生利用を経て最終的に処分されるまでの総利用時間

② 投入から排出までの1回の利用時間(新材・再生材の平均利用期間)

③ 新材としての利用時間

④ 再生材としての利用時間

	物質投入量のデータ	物質ストック量のデータ
①	新材	新材+再生材
②	新材+再生材	新材+再生材
③	新材	新材
④	再生材	再生材

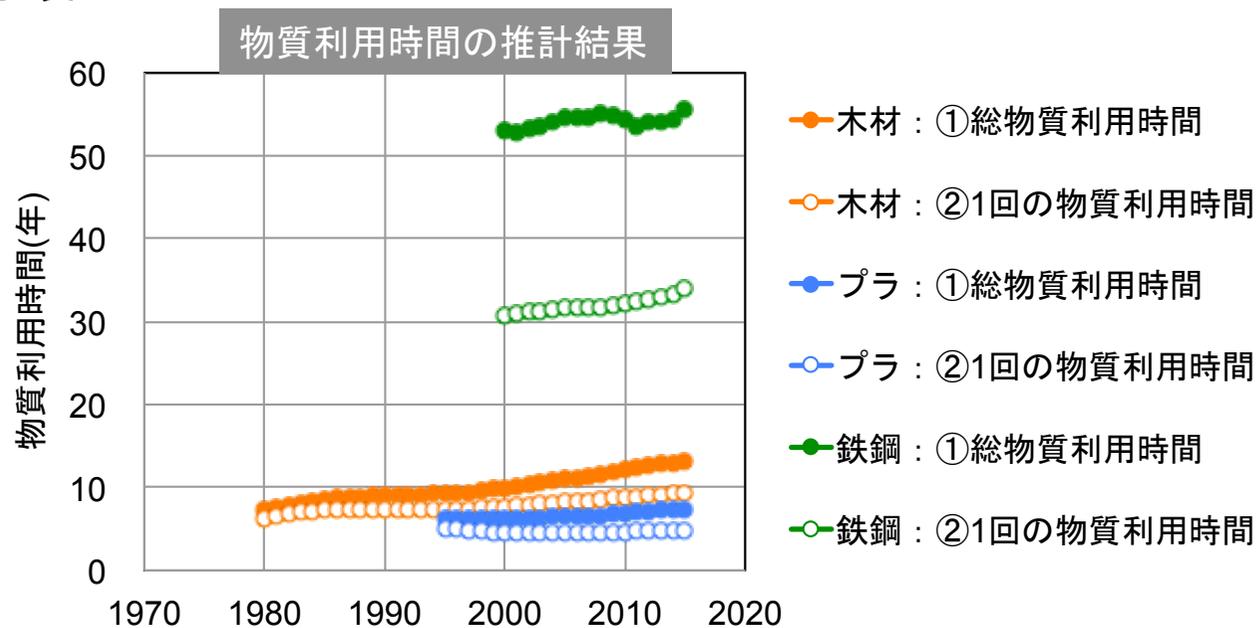
## ②ストック指標としての物質寿命の計測(国立環境研究所)

### □ 成果(続き)

世界的も他に例がない

#### 3) 木材・プラスチック・鉄を題材に物質利用時間(物質寿命)を推計

- 長期傾向としては、①総物質利用時間、②1回の物質利用時間ともに増加
- これらの物質が長く使われる(長く社会に留まる)ようになってきていることを示唆



関連成果発表) 平井満規、小口正弘、橋本征二：環境科学会2018年大会、2018 **【最優秀発表賞受賞】**  
 Oguchi, M, S. Hashimoto, M.Hirai, I. Daigo: 10th Int. Conf. on Industrial Ecology, 2019

### ③産業部門別の資源生産性指標(東京大学)

#### □ 成果

##### 1) 改良された算定方法を提案 第4次計画で採用見込み

負値をとる  
場合がある  
ことが課題

輸入依存度の高い部門が含まれる場合に、部門統合によって歪みが生じていることを確認

分子を付加価値額、分母を国内生産額によって誘発される物質投入量とすることで解決

直接物質投入量(DMI)では、資源投入量を過小評価する問題

一次資源等価換算投入量(RMI)がより適切

	分子の候補	分母の候補
国全体の資源生産性指標	国内生産額(TO) GDP(=ΣVA <sub>j</sub> )	DMI(直接物質投入量) RMI(一次資源等価換算投入量) TMR(関与物質総量) DMC(DMI-輸出量) RMC(RMI-輸出関連RMI) TMC(TMR-輸出関連TMR)
産業部門別の資源生産性指標	国内生産額(TO <sub>j</sub> ) <b>付加価値額(VA<sub>j</sub>)</b> 最終需要額(FD <sub>j</sub> )	左記に誘発されるDMI " <b>RMI</b> " TMR

EUの指標やSDGsではDMC、RMC(MF)が用いられているが、消費側ではなく**生産側からみるにはDMI、RMIがより適切**

従来の部門別指標では消費側からみていたが、生産側の視点を明らかにするために**部門別付加価値額**に着目

### ③産業部門別の資源生産性指標(東京大学)

#### □ 成果

##### 2) 産業部門別資源生産性指標を時系列で推計

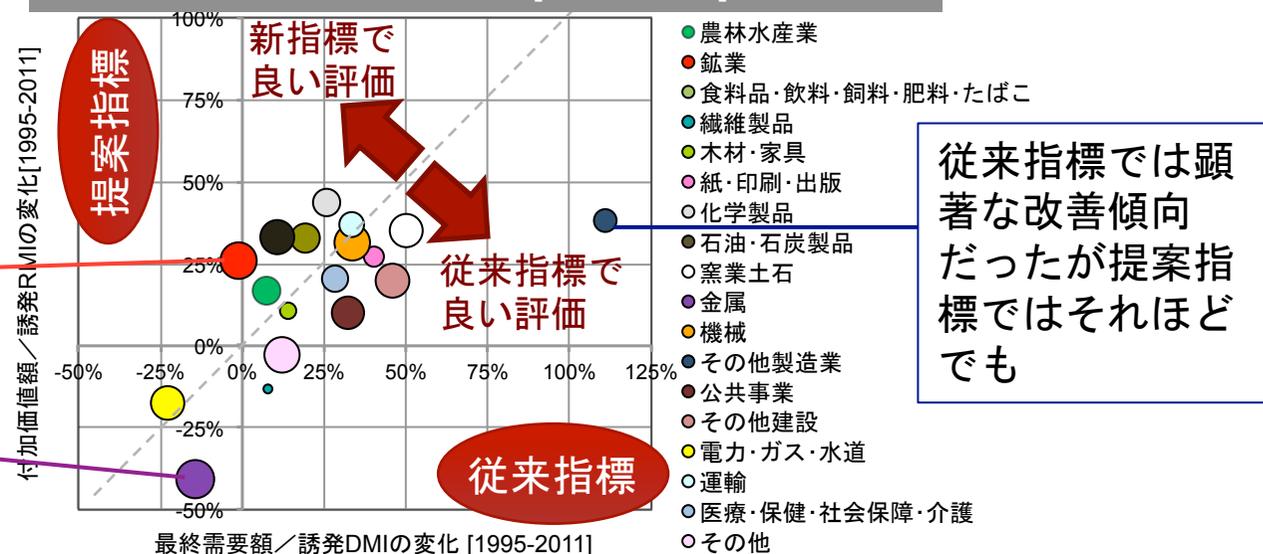
- 提案指標の評価でも各産業部門の変化の方向は従来指標と概ね一致したが、**定義変更(資源生産性の分母・分子)の影響で評価が大きく変わる部門あり**
- 産業連関表の基本分類でも分類が粗いことからRMIの影響を受ける非鉄金属の分析には不十分、マテリアルフローコスト会計等にもとづく算定を推奨

※18部門での結果表示  
 ※バブルの大きさは各産業の国内生産額が誘発するRMIの対数

従来指標では若干悪化傾向だったが提案指標では改善傾向

従来指標でも悪化傾向だったが提案指標ではより顕著

産業部門別の各指標の改善率[1995-2011]の推計結果

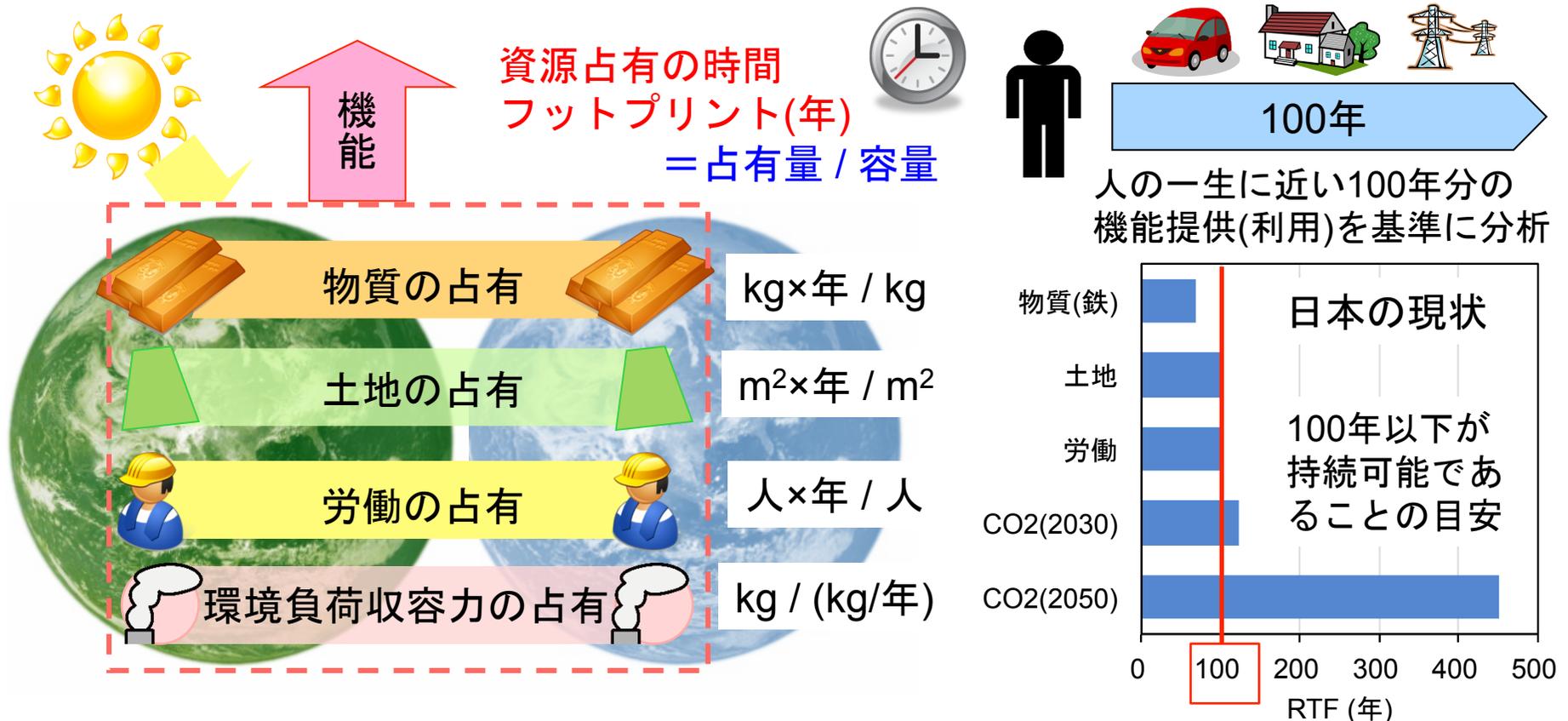


## ④低炭素と資源循環の統合指標(国立環境研究所)

### □ 成果

全て時間の単位になることで比較・統合が可能に

#### 1) 資源の占有に関する評価指標「Resources Time Footprint (RTF)」を提案

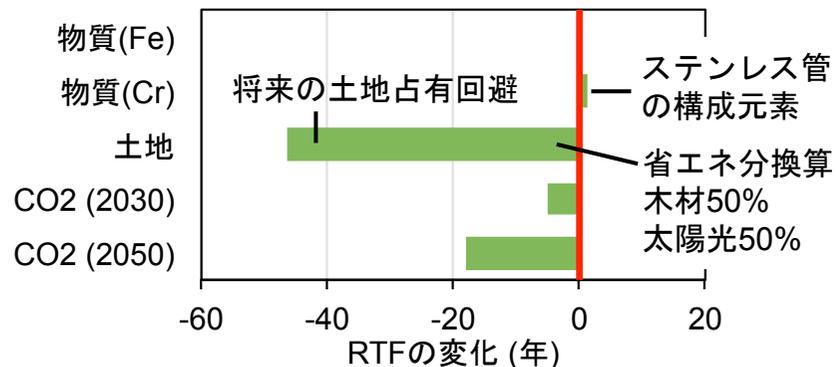


## ④低炭素と資源循環の統合指標(国立環境研究所)

### □ 成果(続き)

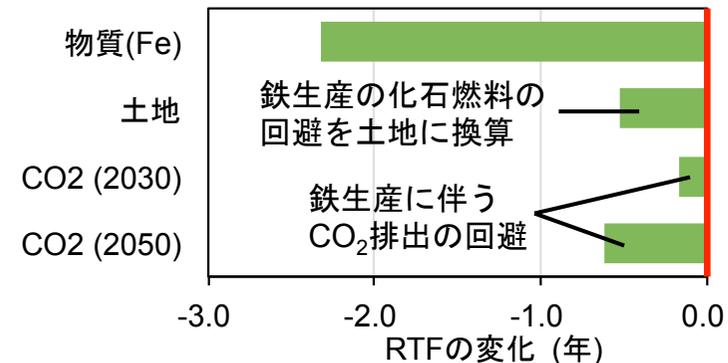
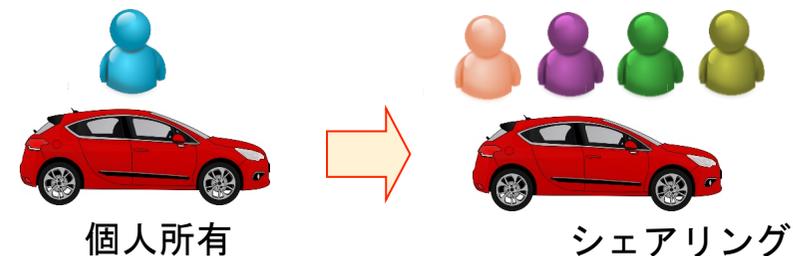
#### 2) 焼却熱産業利用・カーシェアリング等の事例研究で指標の適用可能性を提示

焼却炉を含む発電抽気蒸気の近隣工場での利用のため導管を建設(100年継続)



土地やCO<sub>2</sub>のRTF改善効果は数十年と大きい一方、配管素材のRTFの増加はごく軽微

車を個人所有することから、4人によるシェアリングに変更(100年継続)



シェアリングはいずれのRTFも改善、ただし車だけでは鉄のRTF改善は約2年と小さめ

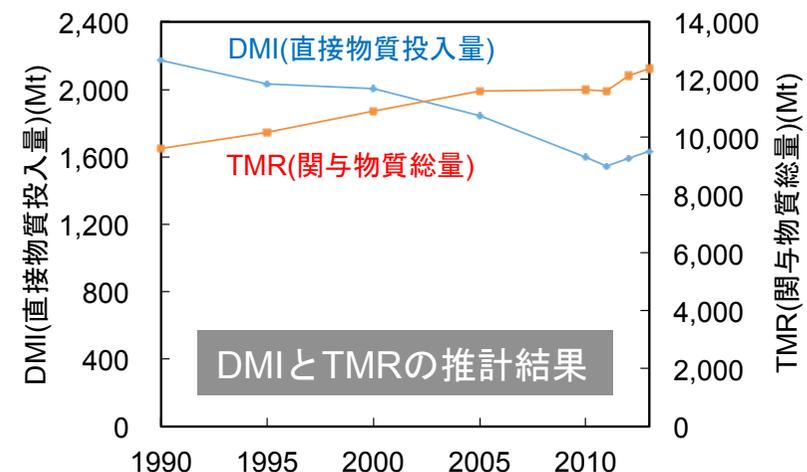
## ⑤TMR指標の新展開(立命館大学・東京大学・アジア経済研究所)

### □ 成果

- 1) TMR(関与物質総量)係数・RME(一次等価換算)係数を整備
  - 既存のTMR/RME係数を見直すとともに、**900を超えるTMR/RME係数を推計(一次資源及び二次資源)**
  - これをデータベースとして公開することで、**第4次計画の指標算定で活用可能に**
- 2) 日本の国全体のTMRを推計
  - 日本のDMI(直接物質投入量)は減少傾向である一方、**TMRは増加傾向**
  - 一般炭、液化天然ガス、レアメタルなどの資源消費量やそのTMR係数の増加が原因

TMR/RME係数は第4次計画における下記指標の算定で活用可能

- 金属資源のTMRベースの入口側の循環利用率
- 一次資源等価換算した資源生産性
- 国民1人当たりの一次資源等価換算した天然資源等消費量



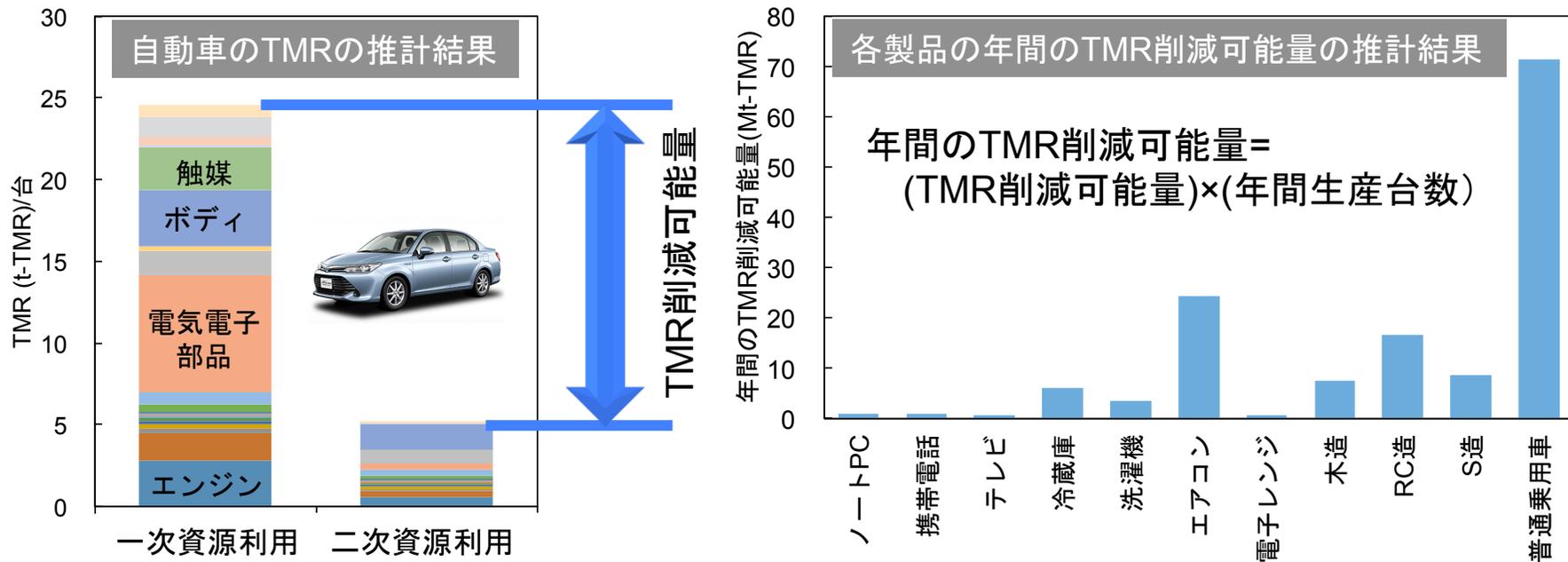
## ⑤TMR指標の新展開(立命館大学・東京大学・アジア経済研究所)

### □ 成果(続き)

3) 主要な製品を対象に年間のTMR削減可能量を推計

➤ エアコンや普通乗用車で大きな削減ポテンシャル

➤ TMRは金属類のリサイクルの効果算定において意味ある活用が可能



関連成果発表) 山末英嗣、赤松玲華、J.C. Cravioto : 第12回日本LCA学会研究発表会、2017  
 鷹田祐京、光斎翔貴、山末英嗣 : 第14回日本LCA学会研究発表会、2019

# 成果発表

## □ 誌上発表 18件



Environmental Science & Technology  
Resources, Conservation and Recycling  
Journal of Industrial Ecology  
Journal of Cleaner Production  
Science of the Total Environment  
廃棄物資源循環学会誌  
日本LCA学会誌  
エネルギー・資源 など

## □ 口頭発表

### ➤ 国際学会 38件



International Society for Industrial Ecology (ISIE) Conference  
ISIE 6th Asia-Pacific Conference  
International Conference on EcoBalance  
International Conference on Resource Sustainability  
Annual IIES Science and Policy Workshop など

### ➤ 国内学会 39件



日本LCA学会研究発表会  
廃棄物資源循環学会研究発表会  
環境科学会大会  
エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス  
日本鉄鋼協会春季/秋季講演大会 など

# 成果の活用(環境政策への貢献)

## □ 検討会への研究成果のインプットと第4次計画への反映

➤ 「第四次循環基本計画策定に向けた勉強会」

2016年度計5回、橋本・森口が参画

➤ 「循環基本計画分析・新指標検討ワーキンググループ」

2016-2017年度計8回、橋本・森口・梅田が参画

➤ 「第四次循環基本計画の目標値設定勉強会」

2017年度計2回、橋本・森口が参画

第4次計画へ反映

## □ データベースの公開

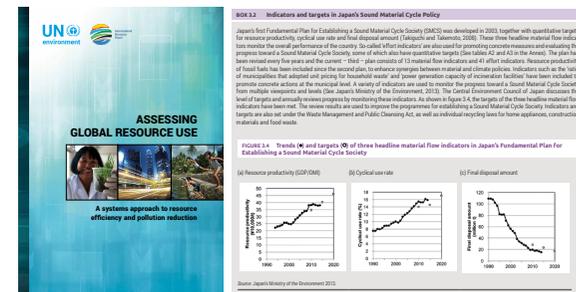
➤ 地方自治体で活用できる指標データベース(公開予定)

➤ TMR/RMI関連指標の算定に活用できるTMR/RME係数データベース(公開済み↑)

## □ 国際資源パネルへのインプット

➤ IRP「Assessing Global Resource Use」(2017)

日本の指標群を先進事例として紹介



# まとめ

	主たるアウトプット	主たるアウトカム/今後の展開
全体		第4次計画の指標策定に貢献
①既存の指標体系の再構築	①第3次計画における指標体系の課題と対応策、新たな指標体系と指標案を提案、②自治体の計画で使用されている指標のDBを作成	①提案の多くが第4次計画で採用、今後は指標の簡素化に向けた作業も必要、②自治体の計画策定におけるDBの活用に向けてweb上に公開
②ストック指標としての物質寿命の計測	物質利用時間(物質寿命)の推計方法を提案し、いくつかの素材を対象に推計結果を提示(世界的にも他に例がない)	第4次計画で課題に挙げられているストック指標の候補として、第5次計画に向けて更なる事例研究を実施、初めての試みとして世界的にも発信
③産業部門別の資源生産性指標	①従来指標の問題を改良し付加価値とRMIに基づく指標を提案、②ボトムアップでの分析の必要性を提起	①提案した指標は第4次計画において採用見込み、②マテリアルフローコスト会計等にもとづく分析の展開
④低炭素と資源循環の統合指標	「占有時間」という視点から異なる側面を統合化する手法を開発し、いくつかの評価結果を提示	理解の容易さに向けた改善を行いつつ、環境・経済・社会の統合的取り組みの評価指標の候補として継続研究
⑤TMR指標の新展開	①様々な一次資源・二次資源のTMR/RME係数を開発、②リサイクルによりTMRを大きく減らせることを提示	①第4次計画における関連指標の算定において開発した係数を活用、係数の定期的な見直しの体制は要検討