

資源利用の効率化の測定と低炭素化

東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻
准教授 村上 進亮 (smurakam@sys.t.u-tokyo.ac.jp)

目次

▶ 測定手法

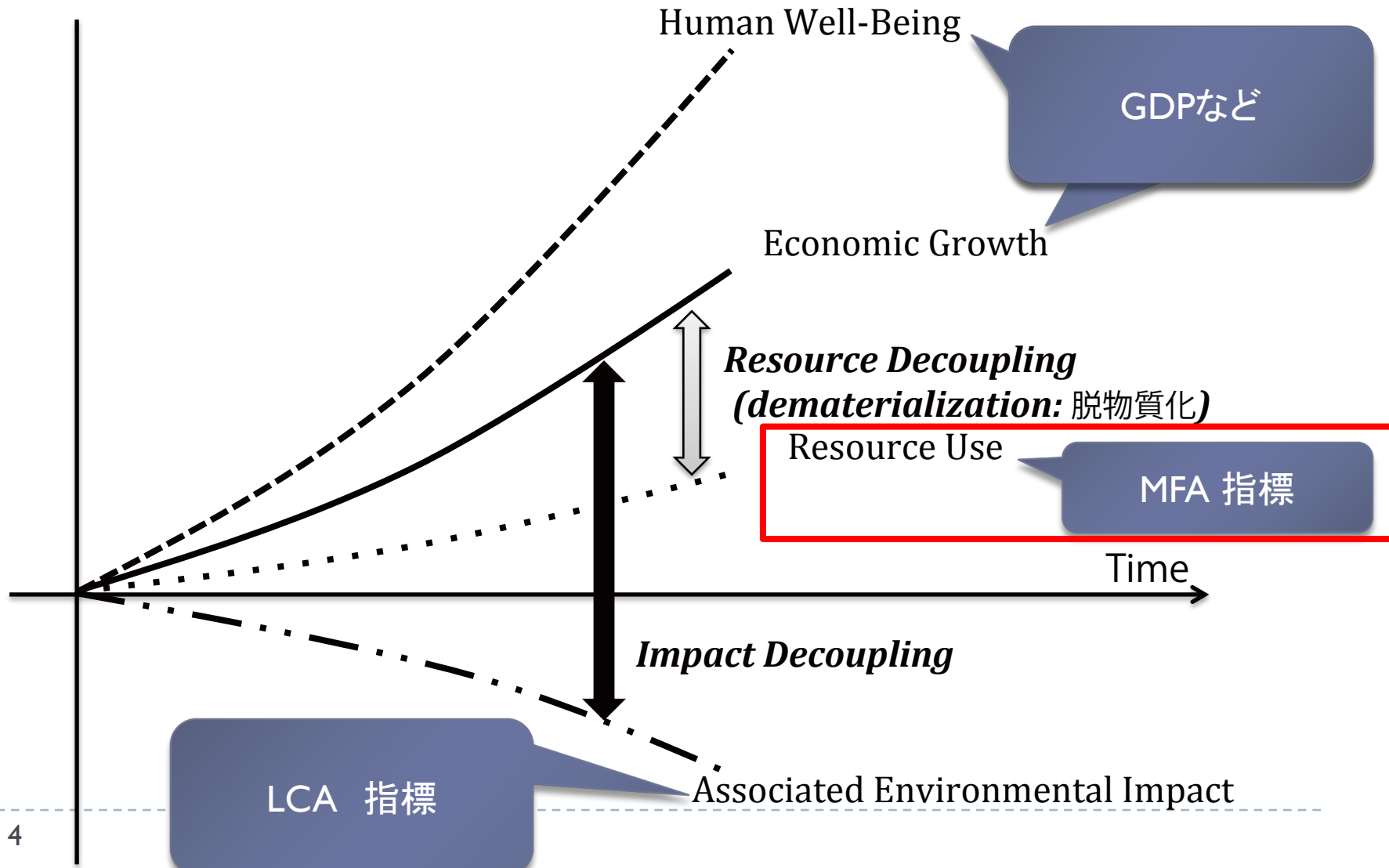
- ▶ DMI (DMC), RMI (RMC), TMR
- ▶ Economy-wide Analysisで必要な精度と個々の分析に求められる精度
- ▶ 水と土地改変(→生態系への影響)をどう扱うのか
- ▶ どこまでを素材に背負わせるのか？

▶ 評価事例

- ▶ 個別評価なのか平均値なのか
 - ▶ モーターを考えてみる
 - ▶ 鉱山評価の事例
- ▶ その他の指標を考えるとどうなるのか

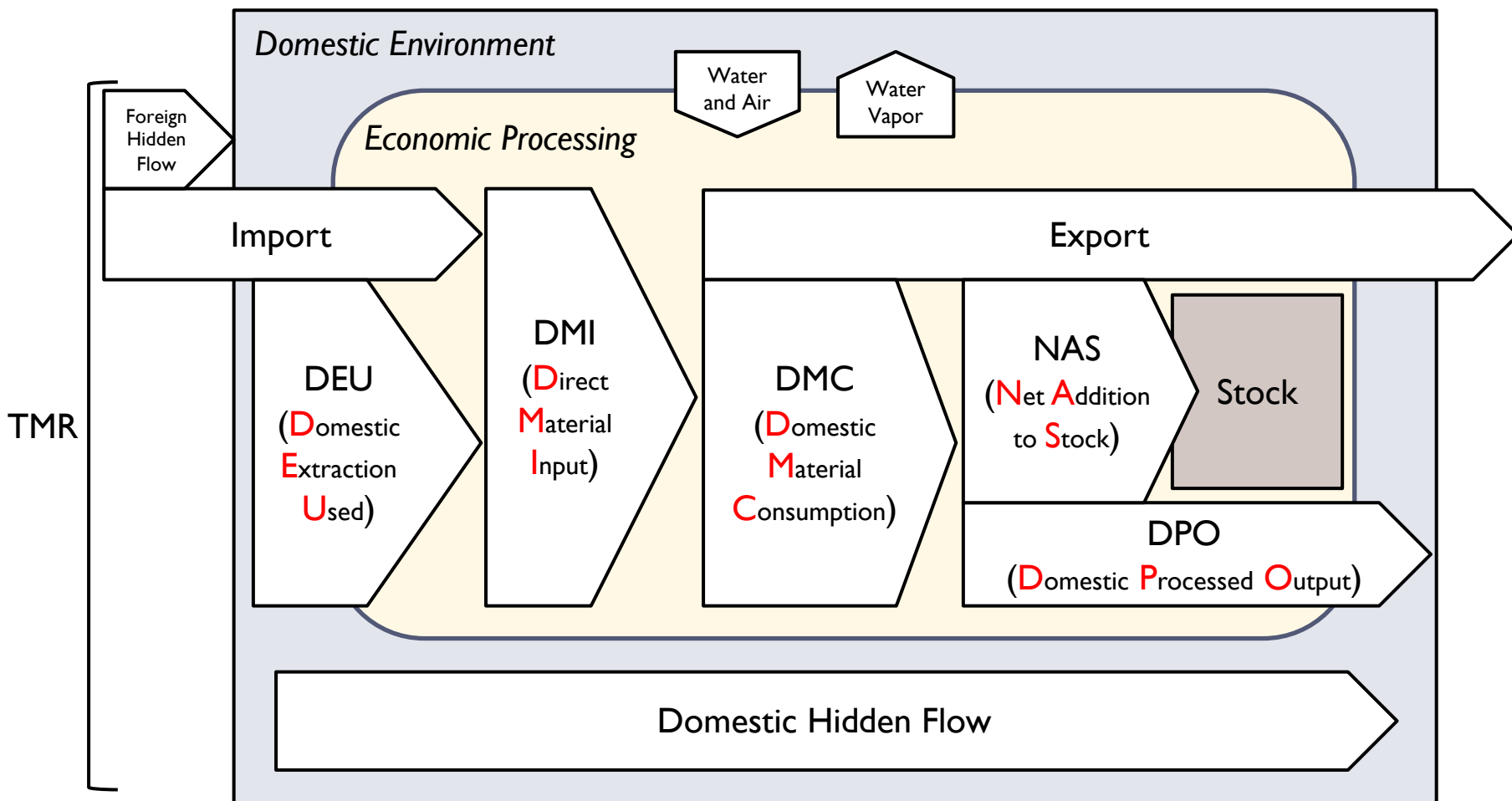
資源利用の効率化と測定方法

Two Decoupling Concepts



Ew-MFA(マクロ勘定)の中でのTMR

- ▶ 質量保存だけが原則です(マテフロの基本)



DMC/DMIにかかる疑問

- ▶ 金1gと土石1gと自動車1gはすべて同じ？
 - ▶ 金と土石：資源種は気にしない？
 - ▶ 自動車の基板にメッキされている金1gと輸入されたインゴット1gと貴金属精錬で国内生産された電気金と鹿児島の大隅銅山で採掘された金精銅1gが同じ？
 - ▶ 同じ素材についてもそのライフサイクルのどの時点で測るかでそこまでに背負っているものが違うか？少なくとも歩留まりを無視しては居ないか？
- ▶ 基本的には観測可能なモノの移動を捉えます。例えば自動車に含有される銅1kgを捉える場合次の量が数えられます
 - ▶ 自動車輸入国：最終製品中の銅1kg
 - ▶ 地金輸入 & 自動車生産国：1kg ÷ 地金以降の生産工程の歩留まり
 - ▶ 銅石輸入 & 自国生産：3.33kg(精銅品位が30%だとして) ÷ 製錬以降の生産工程の歩留まり
 - ▶ 資源国：3.33kgもしくは粗銅生産量100kg(粗銅品位が1%だとして)
 - ▶ TMR：更に最後にある剥土など(剥土比が2(1銅石を取るために必要な要らない剥土が2)ならば300
 - ▶ RMEは100、TMRだと300

DMI (DMC), RMI (RMC), TMR

		Direct Material Flows		Raw Material Flows		Total Material Flows			
間接 (国内採取)	UDE						TMC		
直接 (国内採取)	DEU			DMC		RMC			
直接 (輸入)	IMP_RME	IMP	DMI	EXP	RMI	EXP_RME	EXP_RME +EXP_RM E_UDE	TMR	総採掘量
間接フロー (輸入)	IMP_RME_UDE								

UDE: 利用されない国内採掘 (採取) 量 (Unused Domestic Extraction)

RME: Raw Material 換算量 (Raw Material Equivalents)

TMR: 関与物質総量 (Total Material Requirement)

UE: 利用されない採掘 (採取) 量 (Unused Extraction)

RMEで勘定するとどうなるのか？

金属でいえばRaw Materialsとは鉱石の量であってズリなど、採掘しても経済活動に投入されないものは勘定されない。となれば、例えばAMDを処理するためにダムを掘るなどはやはりされない。

処理のために投入される薬品なども、経済全体の勘定としてはどこかで把握されるはずではあるが、鉱山採掘に関するものとして割り付けられるかといえおそらくされない。

→ TMRの場合には思想としてはされる。(実際にできているかは？)

TMRの精度

- ▶ 本音で言えばTMRでやりたい、という人は多い
 - ▶ TMRは環境負荷の一次近似指標になるのではという期待感は長らく持たれている…。
- ▶ マクロ勘定では？
 - ▶ TMRを精緻に追い詰める行為はマクロ経済全体に適用を考えた場合、平均的な係数を用いれば十分に意味がある。
- ▶ 逆に個別製品レベルでは？
 - ▶ サプライチェーンを全て遡りどこの鉱山から調達しているのかまで分かれば、可能性はある。
- ▶ TMRの環境負荷的な意味とは？
 - ▶ 重さで我々のアクティビティの規模を測る、我々人類の環境への介入規模の一時近似指標。

水と土地改変は？

▶ 水に関して

- ▶ 資源利用に関する環境問題としては、AMD(酸性坑廃水)の問題は非常に大きい。
- ▶ 地下水脈や鉱床によってどのようなAMDが発生するかは変わり、量は降水量にも依存する。

▶ 土地改変に関して

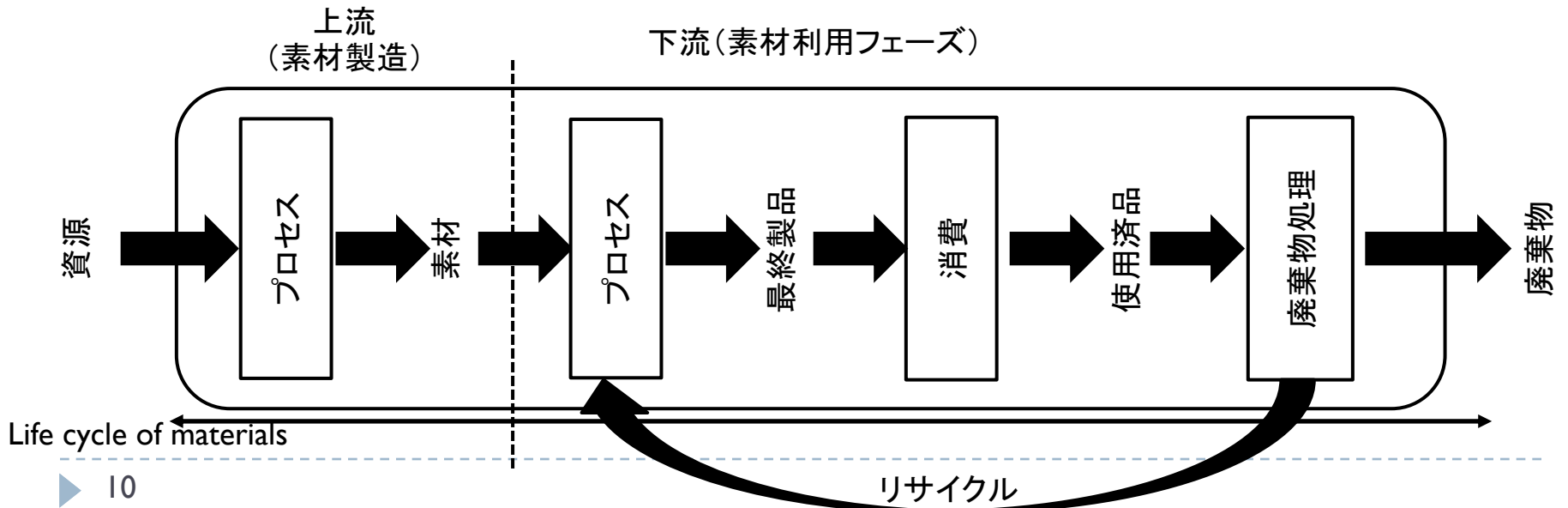
- ▶ 採掘量と土地改変面積の間に良い相関があるかといえ、同じ鉱種、同じ採掘法に絞っても必ずしもそうとはいえない。
- ▶ インパクトまで見るならば生物多様性が大きく・・・



TMRがこれらを近似できそうには思えない。
ただし、同一鉱山で採掘量が減れば基本的にはどちらも減ることは間違いない

どこまで素材に背負わせるのか

- ▶ 同じ素材の生産を低炭素化する
 - ▶ 生産プロセスを比較すれば十分
- ▶ しかし、社会がどのような素材を使っていくのか。そのために何を評価する必要があるのか
 - ▶ 素材レベルでの資源利用効率を考えるような研究も少しずつ出て来てはいる



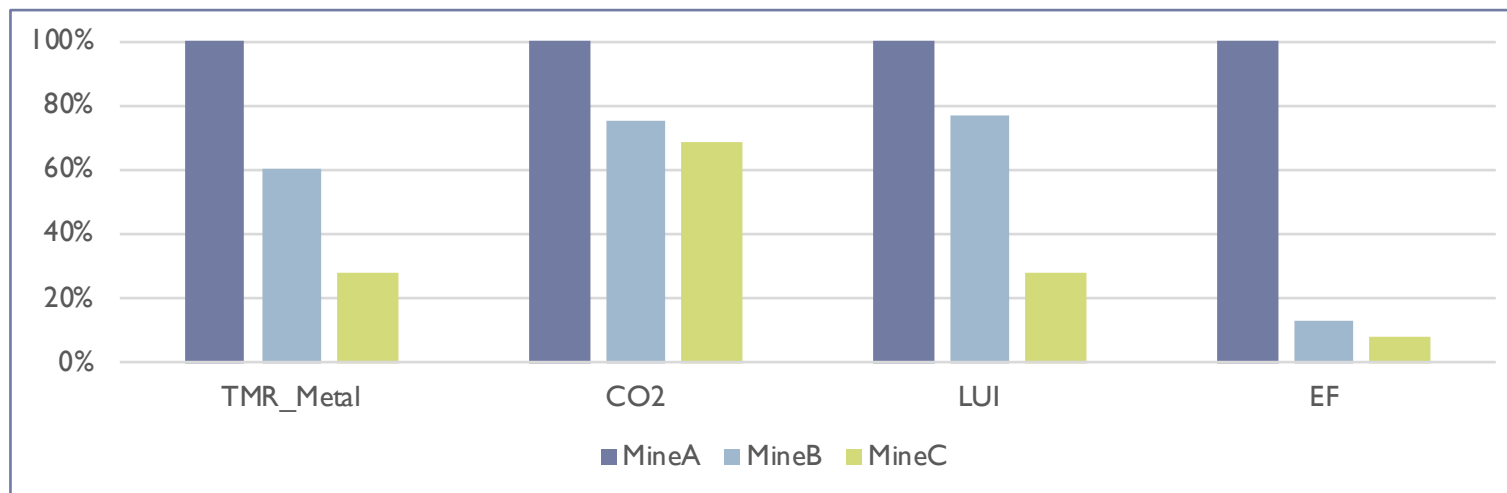
評価の事例

鉱山の評価：複数指標の比較

＜ケーススタディに用いた鉱山の特徴＞

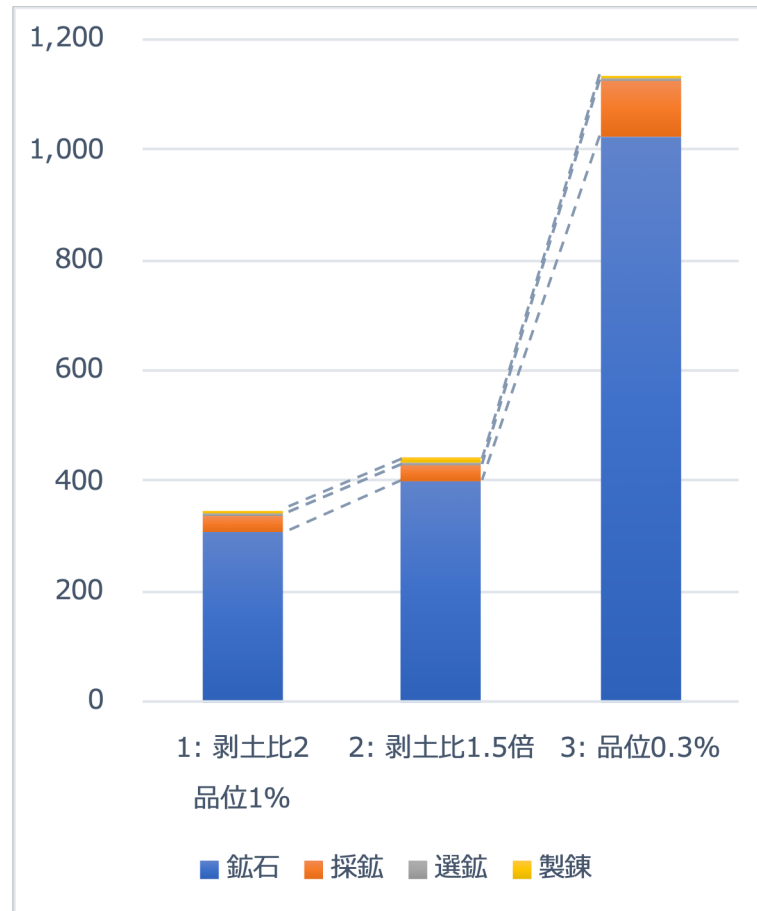
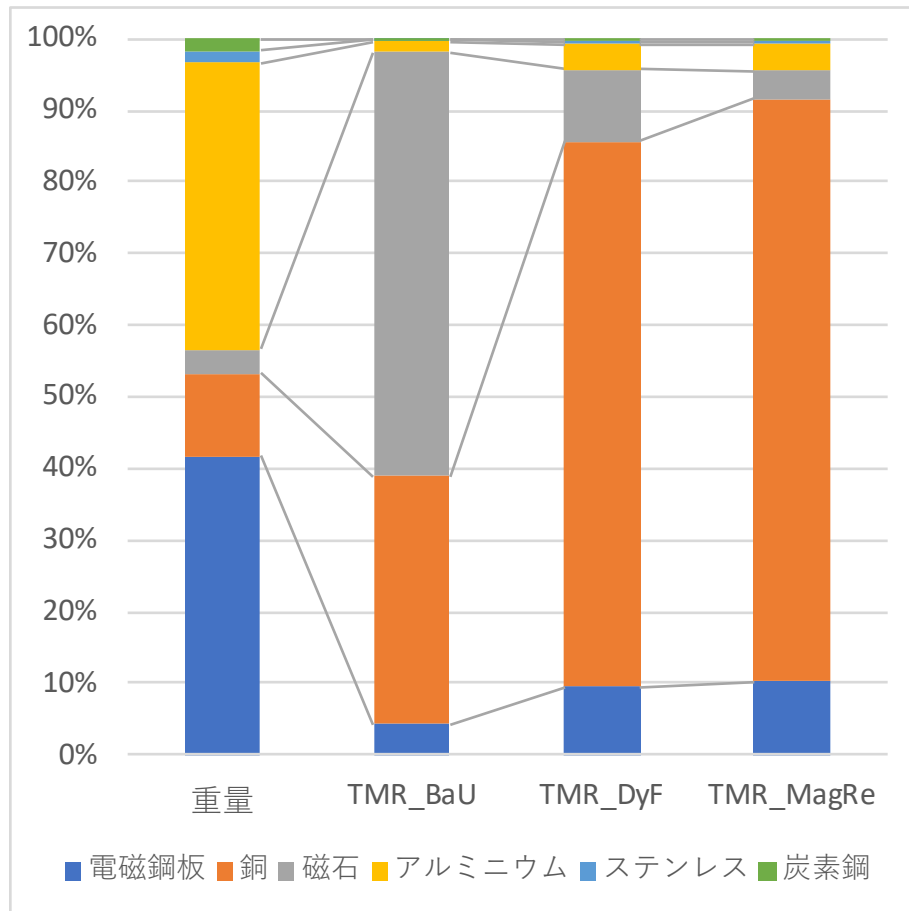
Copper Mines	Environment	Method
Mine A	Forestry	Open Pit
Mine B	No Green	Open Pit
Mine C	No Green	Block Caving

＜結果：全てMine Aを100%とした場合＞



Modified from Murakami et al. (2015): Environmental Impact Indicators and Mining Method, Proceedings SDIMI 2015

モーターの評価と銅の評価の問題



磁石の組成は Hernandez, M., Messagie, M., De Gennaro, M., & Van Mierlo, J. (2017). Resource depletion in an electric vehicle powertrain using different LCA impact methods, *120*, 119–130. をベースに村上作成

最後に

- ▶ 資源利用量の評価指標について
 - ▶ これまで良く用いられてきたDMI/DMCについては資源利用という意味では過小評価
 - ▶ RME(Raw Material Equivalent)になると改善が見られるが環境影響に関する指標としては若干不足がち
 - ▶ TMRについては我々の活動量の指標としては可能性を感じるが逆に個別事例の差が大きくなる
- ▶ TMRを個別事例に用いると
 - ▶ 活動量(環境への介入規模)指標としては可能性があるがどのような環境影響に使えるかは未知数
- ▶ 資源利用とその他の環境影響
 - ▶ 短絡的に考えることは危ない