

休廃止鉱山の新たな緑化対策等に関するガイダンス
【概要版】

ガイダンスの目的

本ガイダンス作成の目的は、「捨石・鉱さいたい積場緑化の手引」に則り、生態遷移を念頭におき自然の植生と一体化し鉱山跡地を元山化するのが最終目標とした場合、人の手をかけて植生遷移を助長させる際には、鉱山環境に適応できる植物種の選択が重要と考え、提案するものである。

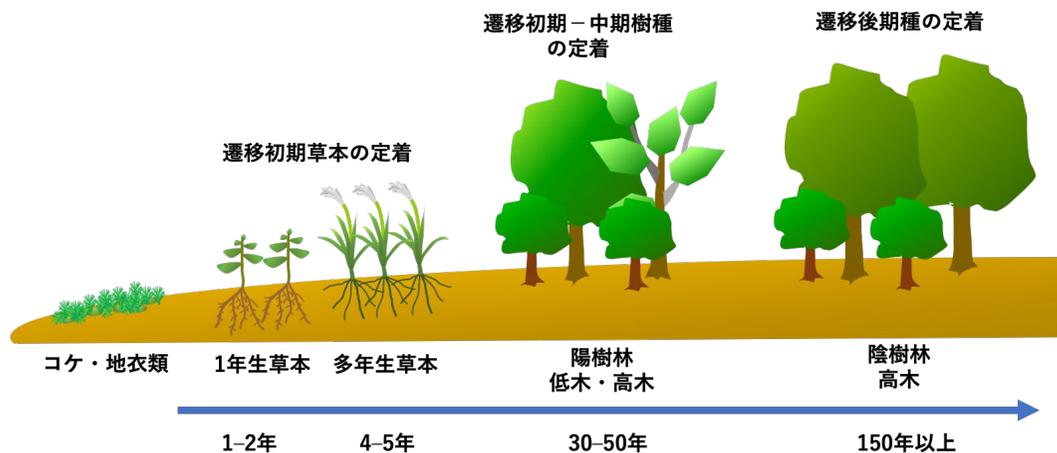
ガイダンスの目次

1. 鉱山跡地における植生遷移を生かした緑化
 - 1-1 鉱山跡地における植生遷移
 - 1-2 鉱山植生の特徴
 - 1-3 植物にとっての元素:その役割と毒性
 - 1-3-1 はじめに
 - 1-3-2 植物の無機栄養元素
 - 1-3-3 植物における毒性
 - 1-4 金属元素に対する耐性
 - 1-5 好金属植物の利用
 - 1-5-1 ファイトレメディエーション
 - 1-5-2 ファイトマイニング
2. 重金属環境に自生する金属元素を蓄積する植物
 - 2-1 はじめに
 - 2-2 国内の事例
 - 2-3 海外の事例
3. 自生植物利用による緑化方法
 - 3-1 はじめに
 - 3-2 自生植物を利用可能な緑化場所
 - 3-3 遷移を意識した自生植物の選択
 - 3-3-1 施工地の環境の重要性
 - 3-3-2 郷土種の重要性
 - 3-4 自生植物の増殖及び定着方法
 - 3-4-1 ススキ
 - 3-4-2 イタドリ
 - 3-4-3 アカマツ
 - 3-4-4 リョウブ
 - 3-4-5 ヤナギ類
 - 3-4-6 覆土を行わない堆積場の緑化
4. 緑化によるカーボンニュートラル等の事例について
 - 4-1 海外における鉱山跡地の緑化の事例紹介
 - 4-2 海外におけるファイトマイニング (phytomining) の事例紹介

1. 鉱山跡地における植生遷移を生かした緑化

1-1 鉱山跡地における植生遷移

1-2 鉱山植生の特徴



企業へのアンケート調査及び意見交換会

「緑化に困っている場所はある」

集積場・たい積場



植生遷移を、1次遷移と2次遷移とに分けて理解する必要性

鉱山跡地での植生遷移について明言

1次遷移: 「たい積場、集積場やひどく侵蝕された場所」のように土壌の未発達な場所」

2次遷移: 「森林伐採跡のような既存植物の種子や地下茎、根などが残存し、土壌条件も良好な場所」

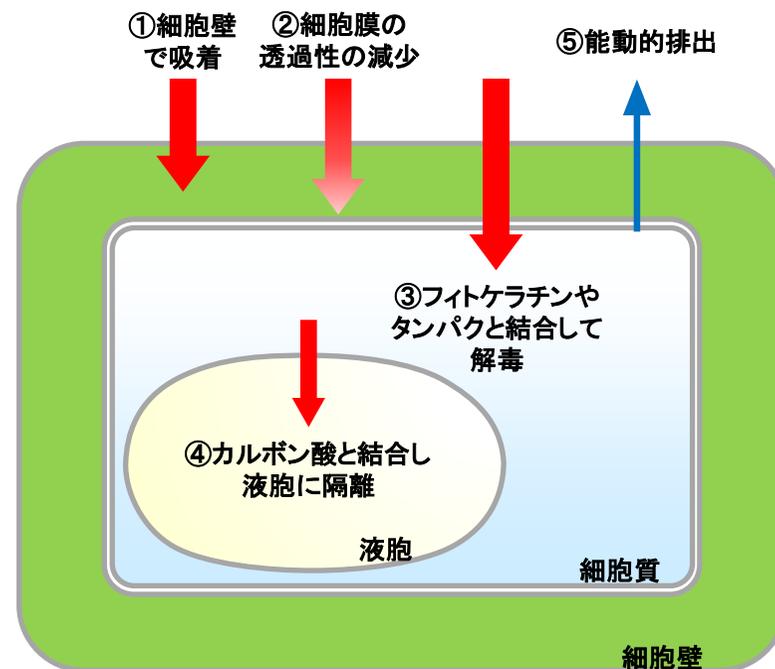
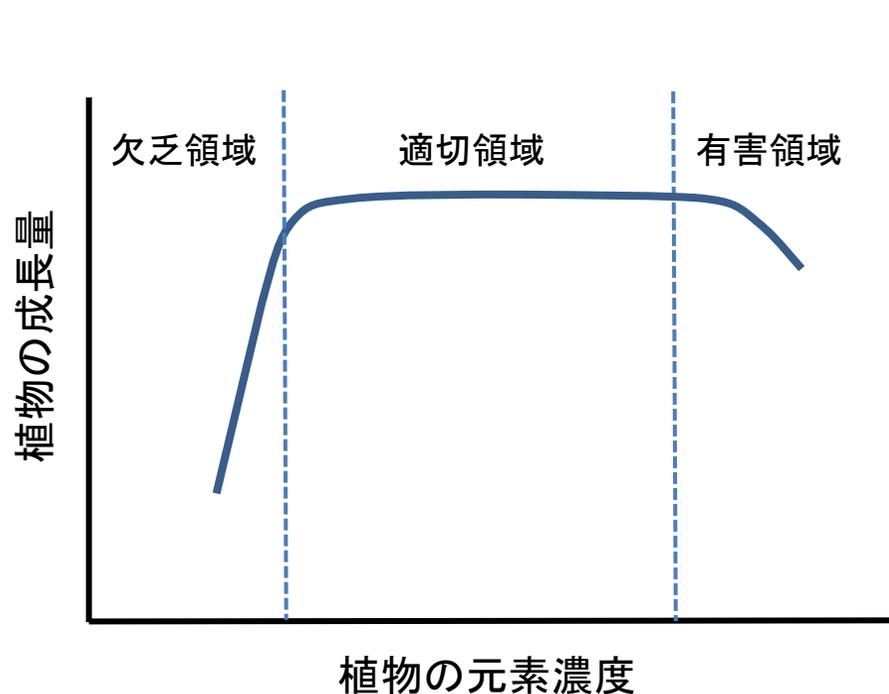
1. 鉱山跡地における植生遷移を生かした緑化

1-3 植物にとっての元素: その役割と毒性

1-4 金属元素に対する耐性

1-5 好金属植物の利用

- 重金属元素の一部は、植物成長に必須である。
- 土壌に金属元素が高濃度で存在すると、過剰吸収により成長阻害等の毒性が顕在化する。
- 植物体内の元素濃度には最適な濃度域がある。



2. 重金属環境に自生する金属元素を蓄積する植物

2-1 はじめに

2-2 国内の事例(別表1~3)

採取場所	種類	植物名	水・土壌の含有元素濃度	植物の含有元素濃度 (mg/kg)	引用文献
北陸地方 鉱山	コケ植物	<i>Scopelophila cataractae</i>	水 mg/L	植物体全体: As 0.45 Cu 15	Suzuki et al. (2016) Mine Water Environ 35: 265-272.
			As 0.005 Cu 0.023	Fe 45 Pb 2 Zn 4	
		ホンモンジゴケ	Fe 0.001 Pb 0.004		
			Zn 0.880 pH 6.7		
北陸地方 鉱山	コケ植物	<i>Brachythecium plumosum</i>	水 mg/L	植物体全体: As 0.1 Cu 8	Suzuki et al. (2016) Mine Water Environ 35: 265-272.
			As 0.005 Cu 0.023	Fe 12 Pb 1 Zn 5	
		ハネヒツジゴケ	Fe 0.001 Pb 0.004		
			Zn 0.880 pH 6.7		
北陸地方 鉱山	コケ植物	<i>Rhynchostegium riparioides</i>	水 mg/L	植物体全体: As 0.02 Cu 2	Suzuki et al. (2016) Mine Water Environ 35: 265-272.
			As 0.005 Cu 0.023	Fe 10 Pb 0.8 Zn 2	
		アオハイゴケ	Fe 0.001 Pb 0.004		
			Zn 0.880 pH 6.7		
東北地方 製錬所周辺	シダ植物	<i>Equisetum arvense</i>	土壌 mg/kg	枝: Cd 23 Zn 1110 Cu 17 Pb 24	Morishita and Boratynski (1992) Soil Science and Plant Nutrition 38: 781-785.
			Cd 10 Zn 920	茎: Cd 14 Zn 633 Cu 26 Pb 34	
		スギナ	Cu 36 Pb 36	地下茎: Cd 70 Zn 2330 Cu 144 Pb 323	
東北地方 集積場	シダ植物	<i>Equisetum fluviatile</i>	土壌 mg/kg	地上部: Fe 400 Cu 55 Mn 25	黒澤ら (2021) 環境資源 工学 67: 122-127.
			Fe 170000 Al 53000	地下部: Fe 8000 Cu 450 Mn 100	
		ミズドグサ	Zn 19000 Cu 11000		
			Mn 1500 pH 7.7		

2. 重金属環境に自生する金属元素を蓄積する植物

2-3 海外の事例(別表4~6)

- Web of Scienceにより検索(843報)
- 重金属蓄積性植物の中には外来種であるものがあったため、国立環境研究所「侵入生物データベース」で全ての植物種が外来種でないことを確認

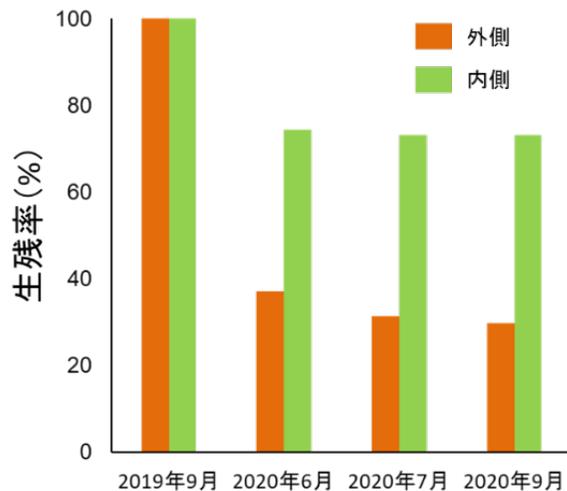
採取場所	種類	植物名	水・土壌の含有元素濃度	植物の含有元素濃度 (mg/kg)	引用文献
Pb/Zn 鉱山 集積場 (Huangshaping ・中国)	1年生草本	<i>Setaria viridis</i>	土壌 mg/kg	地上部 : Pb 277 Zn 250 Cu 19 Cd 1	Shu et al. (2005) Restoration Ecology 13: 49-60.
			Pb 11558 Zn 10011	根 : Pb 444 Zn 415 Cu 32 Cd 0.9	
		エノコログサ	Cu 204 Cd 134		
			pH 7.7		
Pb/Zn 鉱山 集積場 (Shuikoushan・ 中国)	1年生草本	<i>Setaria viridis</i>	土壌 mg/kg	地上部 : Pb 272 Zn 489 Cu 48 Cd 4	Shu et al. (2005) Restoration Ecology 13: 49-60.
			Pb 2462 Zn 1794	根 : Pb 655 Zn 853 Cu 87 Cd 7	
		エノコログサ	Cu 106 Cd 21		
			pH 7.6		
Pb/Zn 鉱山 集積場 (Taoling・中国)	1年生草本	<i>Setaria viridis</i>	土壌 mg/kg	地上部 : Pb 188 Zn 531 Cu 32 Cd 6	Shu et al. (2005) Restoration Ecology 13: 49-60.
			Pb 1120 Zn 833	根 : Pb 254 Zn 741 Cu 51 Cd 9	
		エノコログサ	Cu 197 Cd 5		
			pH 8.2		
Pingle Mn鉱山 鉱さいたいダム (広西チワン族自治 区・中国)	1年生草本	<i>Setaria viridis</i>	土壌 mg/kg	葉 : Mn 1191 Cd 11 Pb 189 Zn 71 Cu 27	Liu et al. (2020) Environmental Science and Pollution Research 27: 19933-19945.
			Mn 8363 Cd 12	茎 : Mn 351 Cd 10 Pb 179 Zn 54 Cu 27	
		エノコログサ	Pb 164 Zn 287 Cu 136	根 : Mn 658 Cd 25 Pb 537 Zn 199 Cu 101	
			pH 5.0		
Pb/Zn 鉱山 集積場 (Huangshaping ・中国)	1年生草本	<i>Eleusine indica</i>	土壌 mg/kg	地上部 : Pb 136 Zn 446 Cu 28 Cd 1	Shu et al. (2005) Restoration Ecology 13: 49-60.
			Pb 11558 Zn 10011	根 : Pb 287 Zn 550 Cu 15 Cd 1	
		オヒシバ	Cu 204 Cd 134		
			pH 7.7		
Pb/Zn 鉱山 集積場 (Shuikoushan・ 中国)	1年生草本	<i>Eleusine indica</i>	土壌 mg/kg	地上部 : Pb 154 Zn 431 Cu 34 Cd 5	Shu et al. (2005) Restoration Ecology 13: 49-60.
			Pb 2462 Zn 1794	根 : Pb 212 Zn 816 Cu 62 Cd 9	
		オヒシバ	Cu 106 Cd 21		
			pH 7.6		

- 3. 自生植物利用による緑化方法
 - 3-1 はじめに
 - 3-2 自生植物を利用可能な緑化場所
 - 3-3 遷移を意識した自生植物の選択
 - 3-3-1 施工地の環境の重要性
 - 3-3-2 郷土種の重要性
 - 3-4 自生植物の増殖及び定着方法
 - 3-4-1 ススキ
 - 3-4-2 イタドリ
 - 3-4-3 アカマツ
 - 3-4-4 リョウブ
 - 3-4-5 ヤナギ類
 - 3-4-6 覆土を行わない堆積場の緑化

基本的な方法については「捨石・鉱さいたいせき場緑化の手引(金属鉱業事業団, 1983)」で十分に満たされており、本ガイドンスでの記載は不要と認識している。使用できる自生植物種の具体的な生態学的特性を中心に記載した。国内の文献を中心にまとめた。

3.4.6. 覆土を行わない堆積場の緑化

ススキの上でアカマツが生残



集積場に自生するアカマツ実生

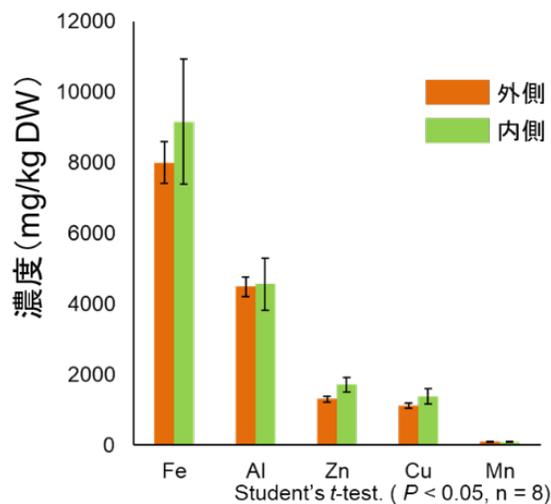
(a) ススキ株の外側



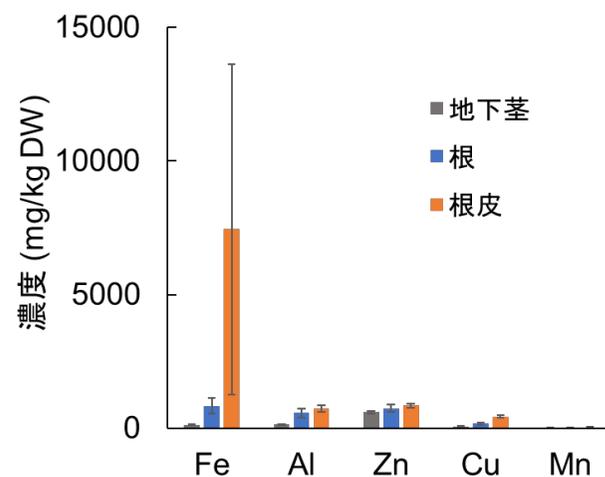
(b) ススキの内側



アカマツがFeを根で高濃度蓄積



ススキがFeを根で高濃度蓄積



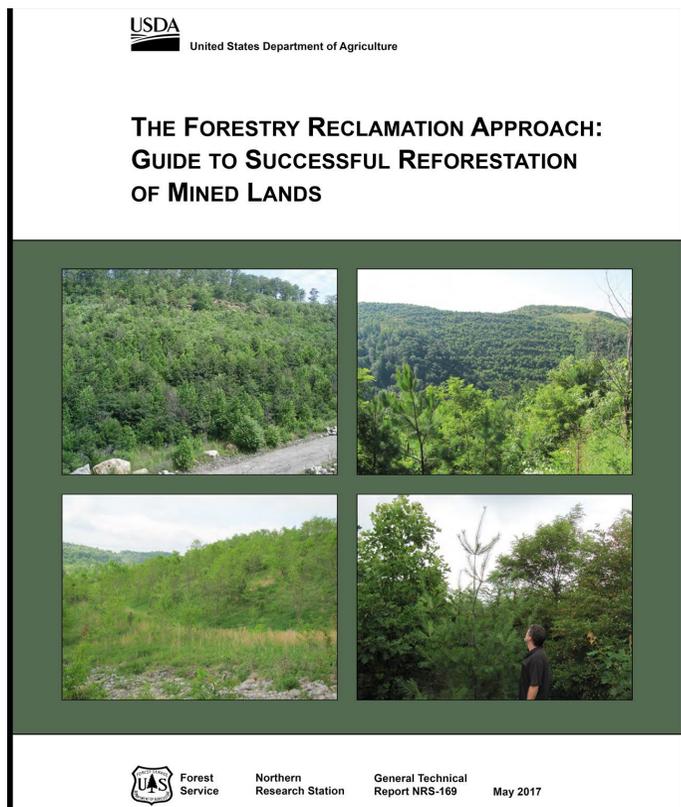
2020年7月に採取した。エラーバーは標準誤差 (n=5) を示した。

第4章 緑化によるカーボンニュートラル等の事例について

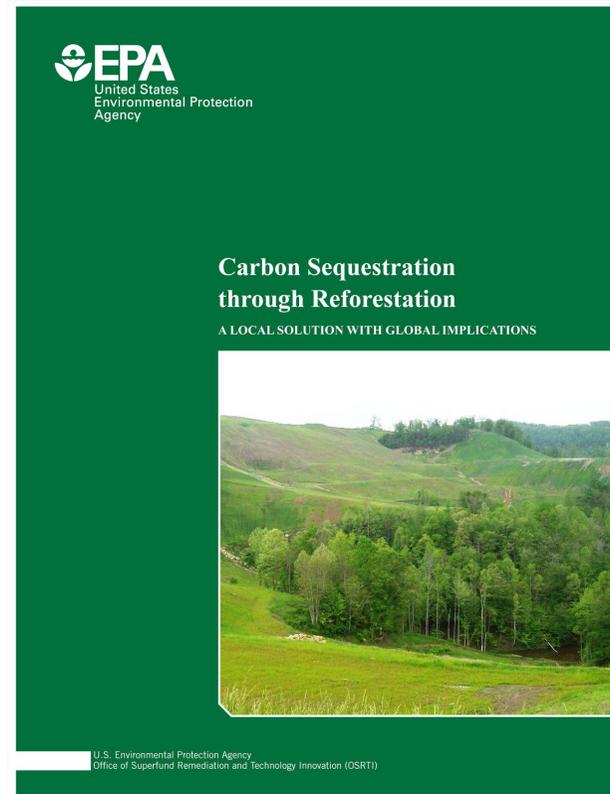
- ✓ 実際に鉱山跡地を緑化(再森林化)することで、どの程度二酸化炭素固定(カーボンニュートラル)に貢献するのかについて、海外事例を紹介する。また、最新の技術動向として緑化によるカーボンニュートラルだけでなく、ファイトマイニング(植物を活用した金属回収)についても海外研究事例を紹介する。
- ✓ それぞれの研究事例はいくつかあり、またレポート等何点か公開されており、それらを紹介する。

4-1 海外における鉱山跡地の緑化の事例紹介

- ✓ 鉱山跡地の緑化、特に緑化による炭素固定に関する研究事例は2000年以降世界各国で散見され、中国、インド、インドネシアを中心としたアジアで事例が多く、米国、カナダ、さらにはポーランドやドイツ、スペインを中心とした欧州の事例がある。
- ✓ 旧炭鉱跡地について、緑化前と緑化後の炭素固定能を比較する事例がいくつかある。最近の研究事例では、鉱山跡地の自然回帰により、炭素固定に留まらず生物多様性の確保に言及する例もあり、SDGs (Goal 13,15) への貢献にも言及する例がある。



米国農務省発行のレポート



米国環境保護庁発行のレポート

4-1 海外における鉱山跡地の緑化の事例紹介

鉱山跡地の緑化による二酸化炭素の相殺率を整理した文献あり。
跡地利用の形態として、森林、牧場、農耕地ごとに整理し、さらに土壌に関しては深度別に調査。
多くの文献で、植生による炭素固定能は2~7 Mg C/ha/yearとされている。

Potential land uses		Potential CO ₂ offset rate (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	References
Forest	Biomass	6.35	Kant and Kreps (2004)
	Soil	2.28 ^a	Sperow (2006)
		5.45 ^a	Akala and Lal (2000)
		8.81 ^b	Ussiri and Lal (2006)
		8.75 ^c	Singh et al. (2006)
Total ^d	9.40	Sperow (2006)	
Pasture	Biomass	4.59 ^e	
	Soil	1.35 ^a	
		5.25 ^a	Sperow (2006)
Cropland	Soil	5.39 ^a	Akala and Lal (2000)
	Soil	3.56 ^a	Sperow (2006)
Forest	Soil	1.20 ^a	Present study
	Biomass	8.7	Present study
	Total ^d	9.36	Present study

^a 0–30 cm depth.

^b Black locust forest for 0–50 cm depth.

^c 0–20 cm depth under 5 year old *Albizia lebbbeck*, and *A. procera* plantation.

^d Total includes soil, biomass and litter.

^e Total includes aboveground, belowground and litter mass.

Nimisha Tripathi et al. Mine spoil acts as a sink of carbon dioxide in Indian dry tropical environment より引用

Land use (Location)	Climatic condition	Age (years)	Total C pool (Mg C ha ⁻¹)	C sequestration rate (Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	References
Reclaimed land (India)	Dry tropical	11	57.16	5.20	Ahirwal et al. (2017)
Reclaimed land (India)	Dry tropical	4	30.30	7.60 ^a	Das and Maiti (2016a)
Reforested mined lands (USA)	Humid continental	30	83.53	2.78	Avera et al. (2015)
Reforested mined land (Poland)	Temperate	24	69.40	3.35 ^a	Pietrzykowski and Daniels (2014)
Revegetated mine spoil (India)	Dry tropical	19	69.23	3.64	Tripathi et al. (2014)
Reclaimed forest (USA)	Temperate continental	25	107.0	5.10	Shrestha and Lal (2010)
Reclaimed forest (USA)	Humid continental	35	132.0	3.77 ^a	Amichev et al. (2008)
Revegetated mined land (India)	Dry tropical	14	89.62	6.40	Present study

^a Average values.

Jitendra Ahirwal et al. Assessment of carbon sequestration potential of revegetated coal mine overburden dumps: A chronosequence study from dry tropical climate より引用

4-1 海外における鉱山跡地の緑化の事例紹介

様々な研究フィールド(鉱山跡地に限らない)における炭素収支を整理した文献あり。
フィールドによっては、呼吸による炭素供給が上回り、収支が「マイナス」となることもある。

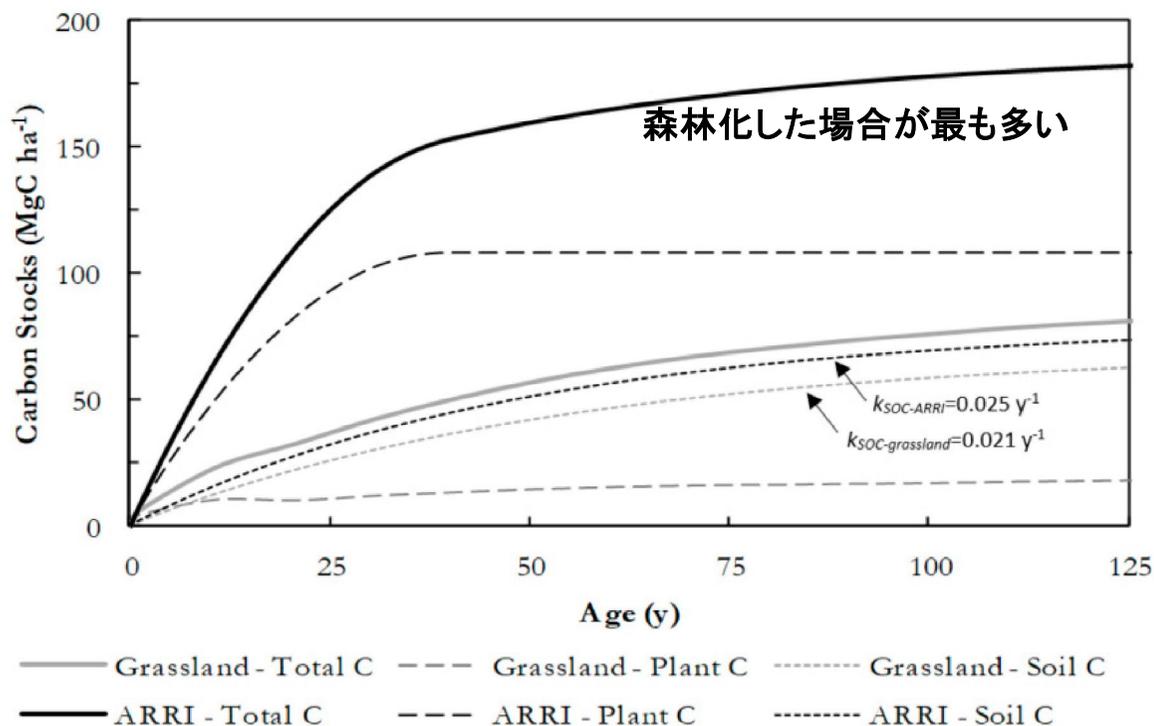
Type of ecosystem	Location	Method of budget estimation	C budget (g C m ⁻² yr ⁻¹)	References
Grassland ecosystem <i>Miscanthus sinensis</i>	Nagano, Japan	Ecological method	- 100 to - 56	Yazaki et al. (2004)
Pasture	New Zealand	Mass balance and modeling	- 414	Tate et al. (2000)
Grassland	Cork, Ireland	Eddy covariance	+ 236	Leahy et al. (2004)
Grass (200 kg N ha ⁻¹)	Uppsala, Sweden	Ecological method	+ 140	Paustian et al. (1998)
Tall-grass prairie	Texas, USA	Bowen ratio/energy balance	+ 50 to + 80	Dugas et al. (1999)
	Oklahoma, USA	Eddy covariance	- 8	Suyker and Verma (2001)
	Wisconsin, USA	Difference method2	- 410 to + 70	Brye et al. (2002)
Mixed-grass prairie	North Dakota, USA	Bowen ratio/energy balance (soil flux)	+ 31	Frank and Dugas (2001)
Moist-mixed prairie	Alberta, Canada	Eddy covariance	- 18 to + 21	Flanagan et al. (2002)
Meadow	Moscow, Russia	Ecological method	+ 387	Larionova et al. (1998)
<i>Forest ecosystem</i>				
Aspen-lime-birch	Moscow, Russia	Ecological method	+ 135	Larionova et al. (1998)
Scots pine forest, 40 y old (<i>Pinus sylvestris</i>)	Southern Finland	Eddy covariance	+ 228	Kolari et al. (2004)
French pine forest (<i>Pinus pinaster</i>)	Les Landes, France	Eddy covariance	- 200 to - 340	Kowalski et al. (2003)
Boreal and temperate forest of Ontario	Ontario, Canada	Model: CBM-CFS2	- 40	Liu et al. (2002)
Ontario's forest ecosystem	Ontario, Canada	Model: CBM-CFS2	- 43	Peng et al. (2000)
Indigenous forest	New Zealand	Mass balance and modeling	- 136	Tate et al. (2000)
<i>Agricultural ecosystem</i>				
Mix agricultural crops	Denmark	Eddy covariance	- 31	Soegaard et al. (2003)
Barley—no fertilizer	Uppsala, Sweden	Difference method2	- 20	Paustian et al. (1998)
-120 kg N	Uppsala, Sweden	Difference method2	+ 10	Paustian et al. (1998)
Corn—continuous	Ohio, USA	Cropland ecosystem model C (CEM)	+ 26	Evrendilek and Wali (2004)
-chisel plowed, fertilized	Wisconsin, USA	Difference method2	- 90 to + 590	Brye et al. (2002)
-no till, fertilized	Wisconsin, USA	Difference method2	- 210 to + 430	Brye et al. (2002)
No till corn—soybean	North Central USA	Eddy covariance	+ 90	Hollinger et al. (2005)
Revegetated mine waste land	Dry tropical ecosystems, India	Ecological method	354.79	Present study

Nimisha Tripathi et al. Mine spoil acts as a sink of carbon dioxide in Indian dry tropical environment より引用

4-1 海外における鉱山跡地の緑化の事例紹介

事例紹介①

- ✓ 米国の炭鉱において、開発済エリアを再森林化しながら開発を進める場合、森林化に伴う炭素吸収量は40年後には110 Mg/ha/yearとなる予測がなされている。二酸化炭素に換算すると13.9 Mg/ha/year。
- ✓ 開発済エリアを草原のように修復していくやり方では、二酸化炭素発生源になるが、森林として再生することで2100年には二酸化炭素の吸収源になりえる、という予測がされている。



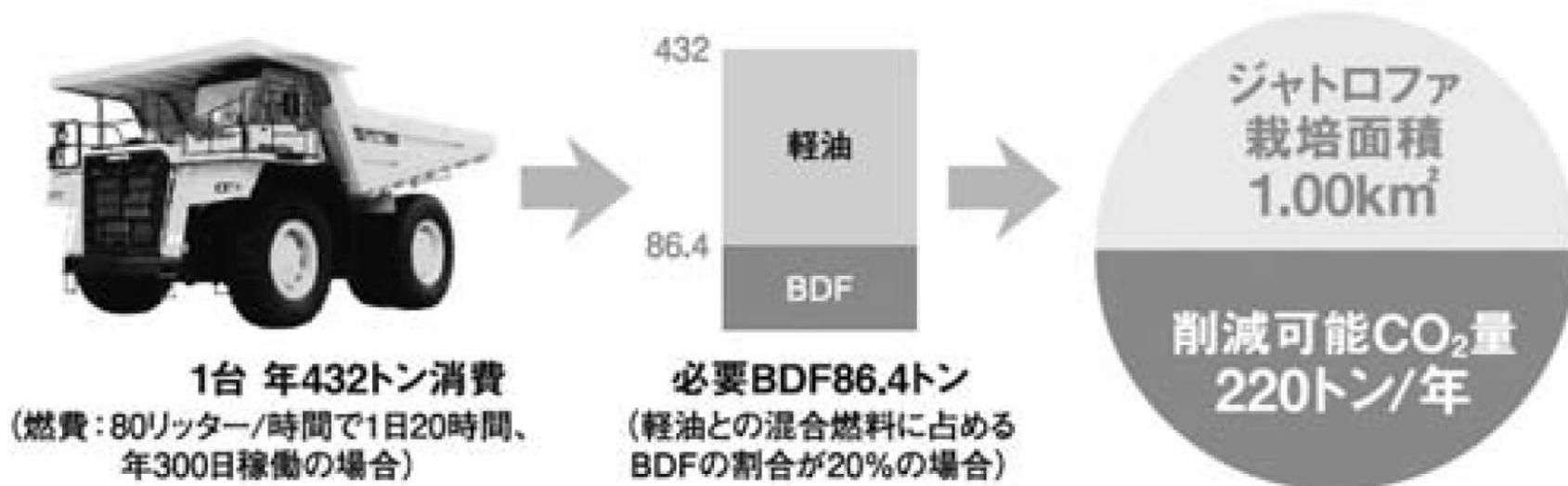
炭素ストックの予測

James F. Fox et al. Carbon Sequestration by Reforesting Legacy Grasslands on Coal Mining Sites より引用

4-1 海外における鉱山跡地の緑化の事例紹介

事例紹介②

- ✓ インドネシアの炭鉱において開発に使用される重機の燃料をバイオディーゼルに代替し、カーボンニュートラル実現を目指すプロジェクト。さらにバイオディーゼルの原料植物を炭鉱の開発済エリアで生育するというもの。
- ✓ 100台規模のダンプトラックがバイオディーゼル20%含有の軽油を使用すれば、消費燃料の20%分のCO₂を削減できることになる。換算すると1年間で約2万トンCO₂相当となり、当該建設機械メーカーの国内生産工場の排出する1年間分の約10分の1となる。



4-1 海外における鉱山跡地の緑化の事例紹介

【参考】緑化に伴う二酸化炭素固定量の算出について

- ✓ 緑化に伴う森林化において、二酸化炭素固定量の試算は以下の計算式にて可能
- ✓ 詳細は林野庁のHP (https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/con_5.html) や、国交省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター緑化生態研究室のHP (<http://www.nilim.go.jp/lab/ddg/naiyo/co2/co2.html>) を参照

計算式(林野庁HPより引用)

吸収量(炭素トン/年)=幹の体積の増加量(m³/年)×拡大係数×(1+地上部・地下部比)×容積密度(トン/m³)×炭素含有率

樹種ごとの年間CO₂固定量を計算してみましょう！

年間CO₂固定量算定式を使って、身近な樹木が1年間に固定しているCO₂の量を測定してみましょう！
調べたい樹木の地面から1.2mの位置の幹の直径（胸高直径）、または樹齢を入力し、計算ボタンをクリックしてください。

クスノキ

胸高直径 cm 年間CO₂固定量 kg/年

樹齢 年 年間CO₂固定量 kg/年

今回の算定式の作成に用いた樹木の範囲 胸高直径：15～51cm 樹齢：16～47年

シラカン

胸高直径 cm 年間CO₂固定量 kg/年

樹齢 年 年間CO₂固定量 kg/年

今回の算定式の作成に用いた樹木の範囲 胸高直径：11～36cm 樹齢：13～31年

マテバシイ

胸高直径 cm 年間CO₂固定量 kg/年

樹齢 年 年間CO₂固定量 kg/年

今回の算定式の作成に用いた樹木の範囲 胸高直径：15～27cm 樹齢：15～31年

国交省国土技術政策総合研究所HPより引用

4-1 海外における鉱山跡地の緑化の事例紹介

【参考】堆積場の傾斜部の樹木管理について

- ✓ 1983年発行の「捨石・鉱さいたい積場緑化の手引」(金属鉱業事業団)において、堆積場の法面管理について以下の記載あり

なお、次のような理由で、たい積場のり面における樹木の管理が重要である。

- ① のり面の樹木が大きくなると、その重量がのり面の安定性に影響する。
- ② 高木が点在すると風倒の恐れがあり、かつ、強風のため、根のまわりの土がゆるみ、雨水が浸透しやすくなる。
- ③ 樹木の根によるいわゆる「岩割り現象」が生じ、風化が促進される。
- ④ 樹木が繁茂するに従い地表面に腐植層が形成され、雨水が浸透しやすくなる。
- ⑤ 樹木が密生しうっ閉すると下草が枯れ、侵食が再発する恐れがある。
- ⑥ 樹木の繁茂は、立入りの障害となり、のり面の変状や崩壊前兆の発見が遅れる。

4-1 海外における鉱山跡地の緑化の事例紹介

参考文献

James F. Fox et al. Carbon Sequestration by Reforesting Legacy Grasslands on Coal Mining Sites energies, 2020

Pavla Vachova et al. Reclaimed Mine Sites: Forests and Plant Diversity, diversity, 2021

Ramesh Thangavel et al. Phytotechnologies for Mine Site Rehabilitation, Spoil to Soil: Mine Site Rehabilitation and Revegetation, 2017

Mathieu Jonard et al. Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon, Science of the Total Environment, 2016

Jitendra Ahirwal et al. Assessment of carbon sequestration potential of revegetated coal mine overburden dumps: A chronosequence study from dry tropical climate, Journal of Environmental Management, 2017

4-2 海外におけるファイトマイニング (phytomining) の事例紹介

- ✓ 鉱山跡地など金属を多量に含む土壌に対し、金属の超集積植物を活用し、土壌から植物体に金属を移行させ、さらに植物体から金属を回収する考え方。
- ✓ 金属鉱床とするには金属元素の濃度が低い場合にも、それを「資源」とみなすことが可能な考え方で、汚染された土壌の浄化に留まらず、金属を回収することにも着目。

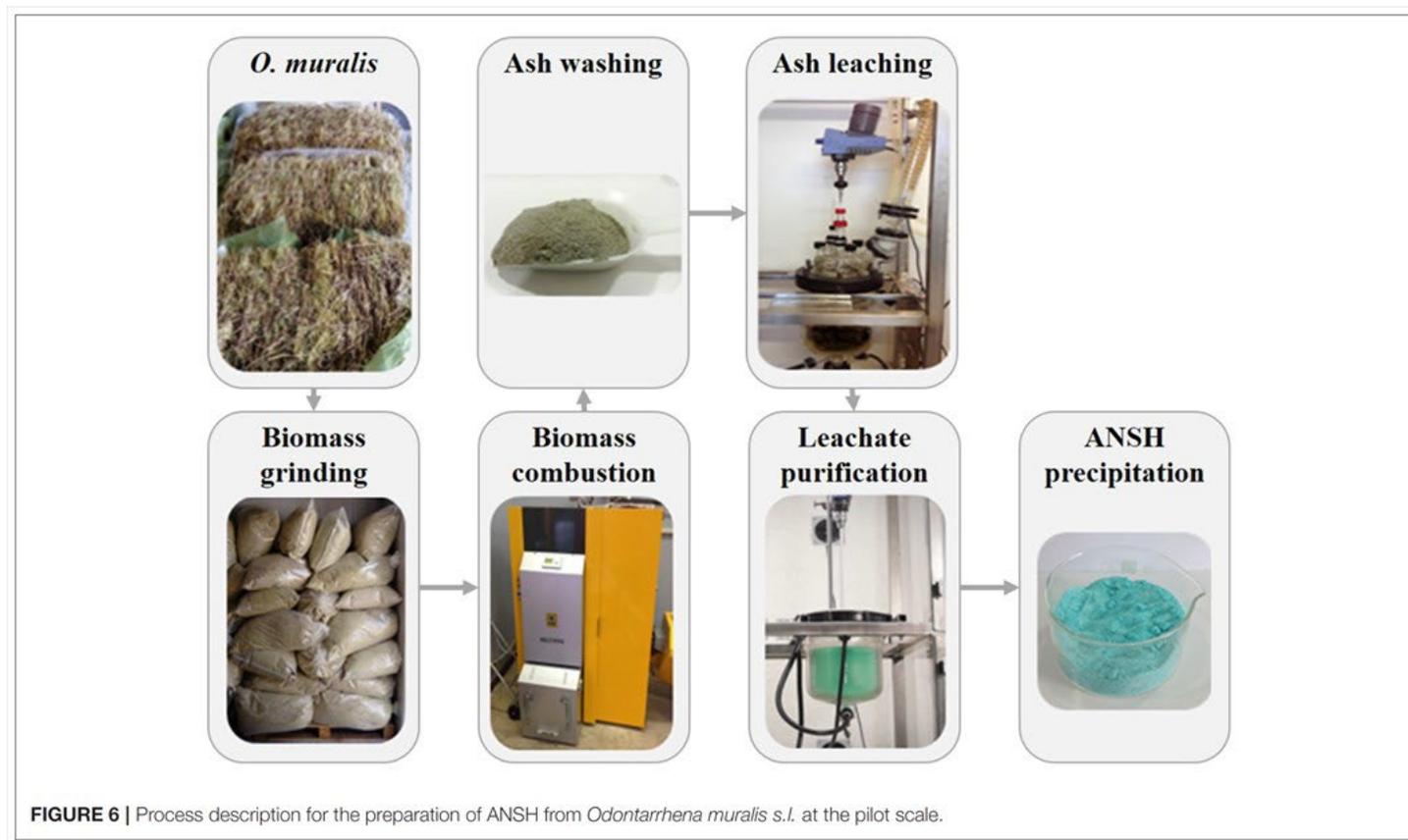


FIGURE 6 | Process description for the preparation of ANSH from *Odontarrhena muralis s.l.* at the pilot scale.

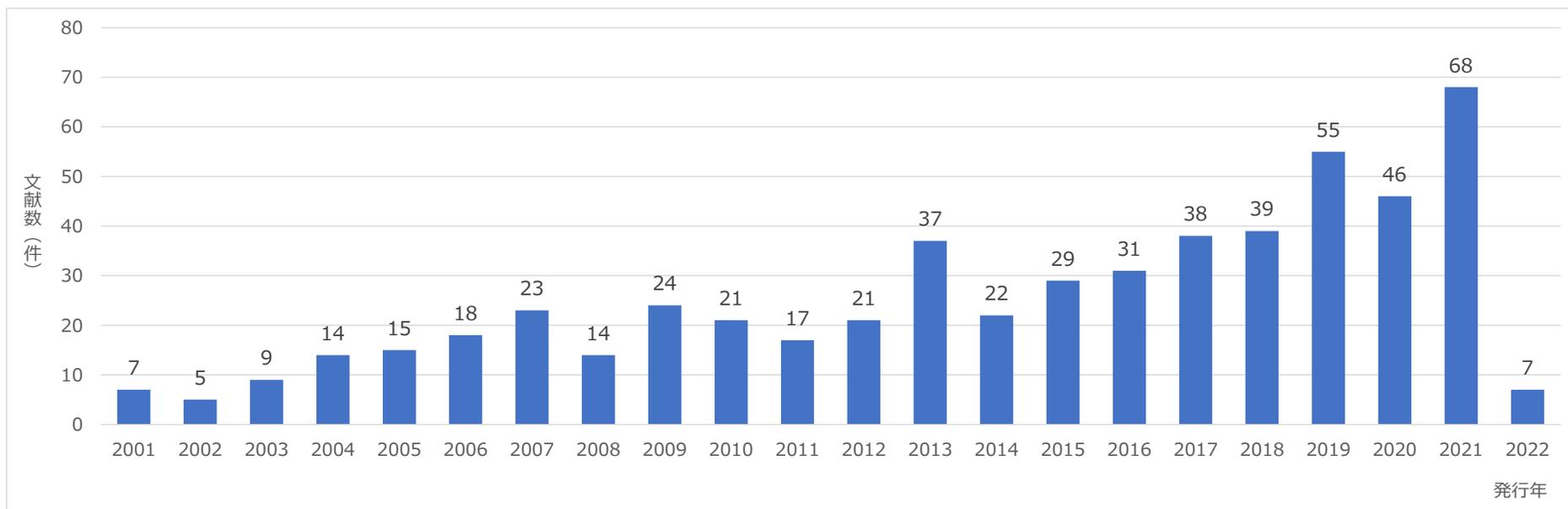
植物体からの金属回収の例

Kidd 他、Developing Sustainable Agromining Systems in Agricultural Ultramafic Soils for Nickel Recoveryより引用

4-2 海外におけるファイトマイニング (phytomining) の事例紹介

ファイトマイニングの利点

- ✓ 通常の鉱山開発では商業的に採掘にみあわない現場であっても、商業的に金属回収が可能になる可能性がある
- ✓ 低コスト、低エネルギーで金属を回収可能であることや、金属回収のプロセスでSOx発生が抑制できること、鉱山跡地などの修復に繋がること、植物体の成長過程で炭素固定が期待できること、エネルギーを生成できること(燃焼の際に)、生物多様性確保に繋がることなどが挙げられている。
- ✓ 将来的にはCクレジット取引に繋がる可能性も示唆されている

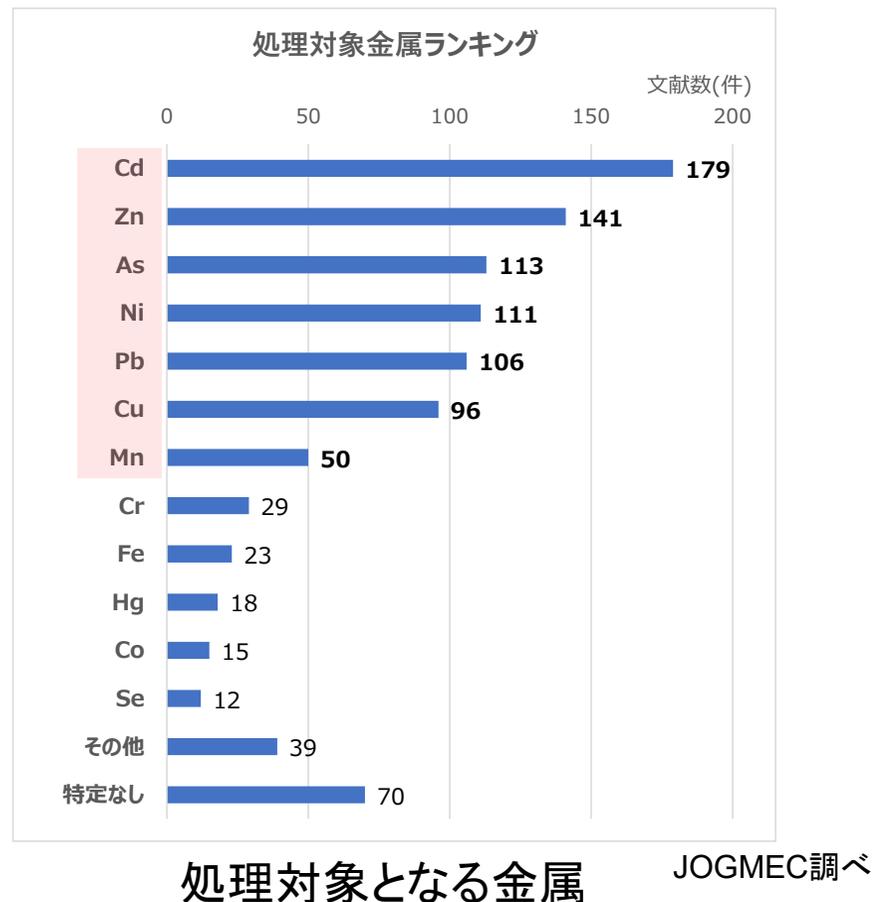


関連文献の発表数推移

JOGMEC調べ

- ✓ ファイトマイニング、ファイトレメディエーション等の単語で検索
- ✓ 2013年は東日本大震災の津波堆積物関連で文献が増加したとされる

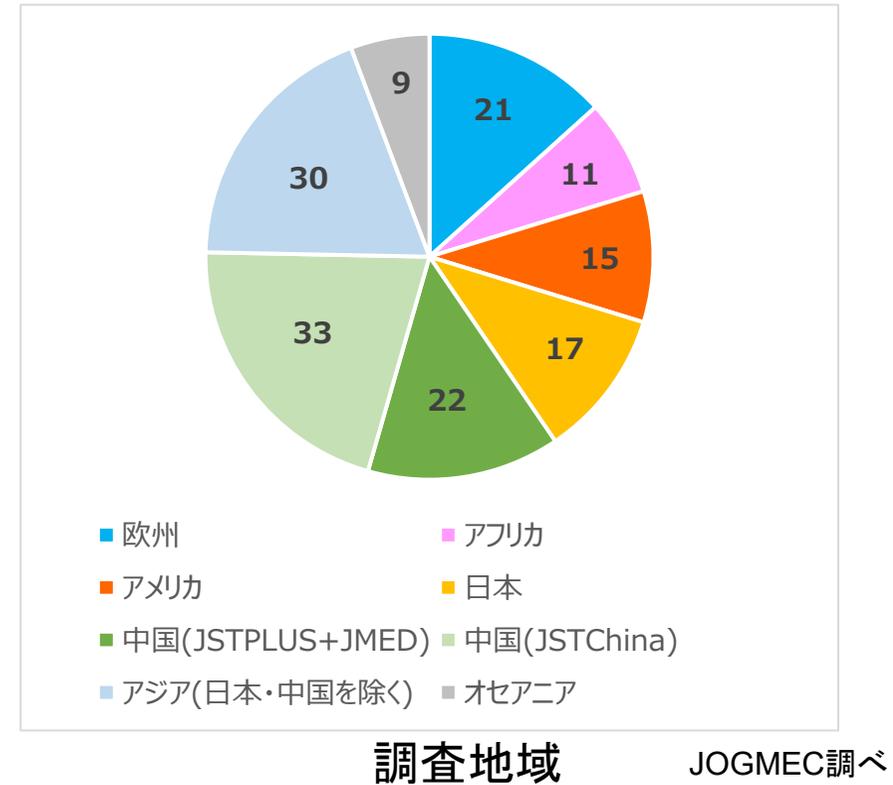
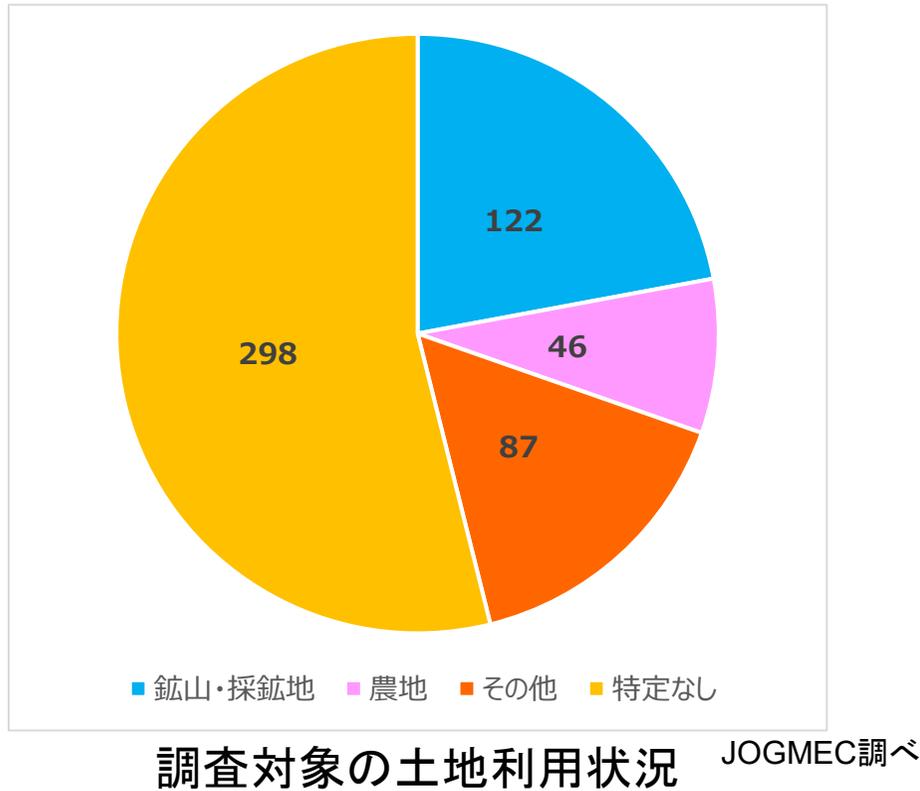
4-2 海外におけるファイトマイニング (phytomining) の事例紹介



現状の技術レベル

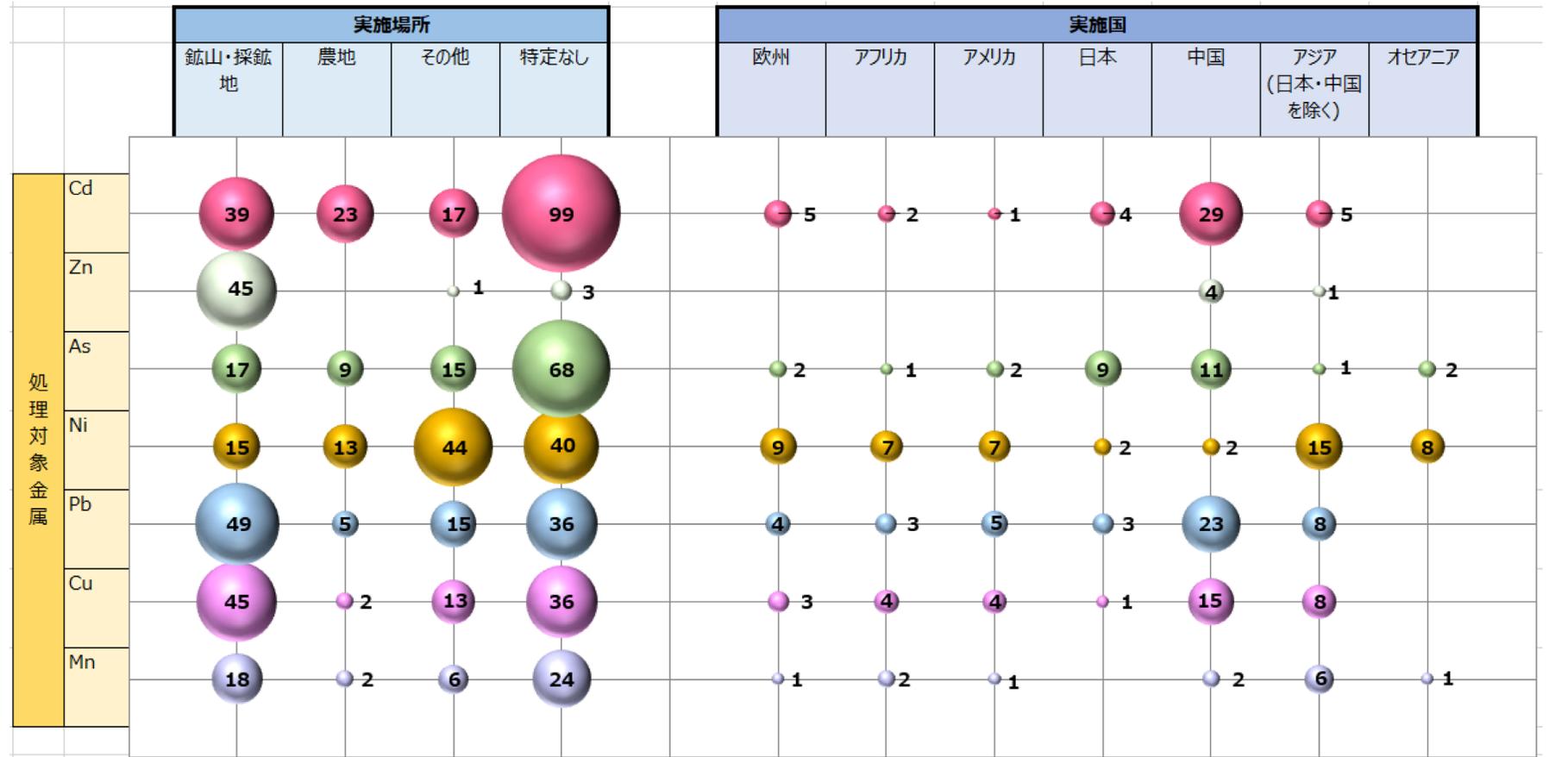
- ✓ 実際のフィールドでの数年オーダーの試験が実施されている状況
- ✓ Niに関しては技術確立に近いレベルまで達しており、長期に亘るフィールドテストも実施されている。また、実際に植物体からの回収技術も進展しており、パイロットテストも実施されている。
- ✓ 他の金属、特にレアメタルについては今後の技術開発の余地がある

4-2 海外におけるファイトマイニング(phytomining)の事例紹介



- ✓ 鉱山跡地におけるファイトマイニングの研究事例は比較的多い
- ✓ 世界各国で研究が進展していて、特にアジアでは研究が盛ん

4-2 海外におけるファイトマイニング (phytomining) の事例紹介



研究対象の金属と実施場所、実施国の関係

JOGMEC調べ

✓ 鉱山跡地では、Cd、Zn、Pb、Cuの研究事例が多い

4-2 海外におけるファイトマイニング(phytomining)の事例紹介

ファイトマイニングの課題、商業利用のための検討

- ✓ 金属の回収範囲が植物の根圏に制限される
- ✓ 汚染土壌を対象とする技術ではあるが、物理的・化学的ストレスが強い場所では、植物の生長が阻害される可能性がある
- ✓ 植物の生長に適した環境で実現可能で、気候的に厳しい環境では難しい
- ✓ 土壌中の金属濃度が高くても、植物への移行量に限界があったり、超集積植物と呼ばれるものは植物体があまり大きくなることがある
- ✓ 発酵、燃焼によりバイオエネルギーを得ることができ経済的なリターンを高めることができるが、バイオマスの収量が低いことが課題
- ✓ 発酵残渣を土壌改良材として循環利用することで、土壌条件が回復し、植物体の生長に寄与することが考えられる

4-2 海外におけるファイトマイニング (phytomining) の事例紹介

参考文献

A.R.A.Alves et al. Nickel phytomining in Portugal: current status and future perspectives, Comunicações Geológicas, 2020

Hermann Heilmeier Phytomining Applied for Postmining Sites, Phytotechnology with Biomass Production

Pim de Voogt et al. Review of Environmental Contamination and Toxicology, 2020

Petra Susan Kidd, Developing Sustainable Agromining Systems in Agricultural Ultramafic Soils for Nickel Recovery, frontiers in Environmental Science, 2018