

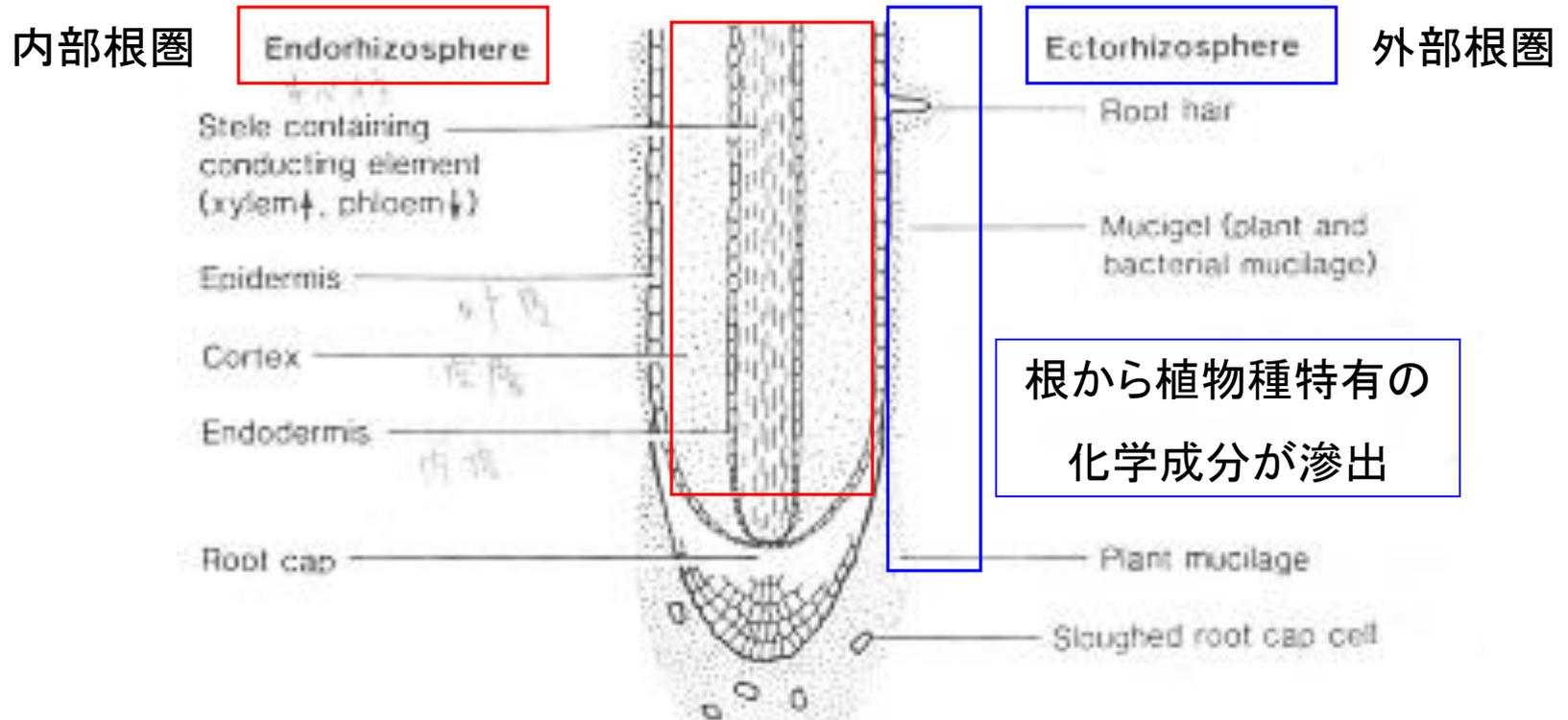
植物と根圏微生物の共生系における放射性セシウムの挙動

内容

1. 植物と根圏微生物
 1. 根圏微生物の産生するシデロフォアと放射性セシウムの溶脱
 2. 植物と根圏微生物の共生系における放射性セシウムの挙動

根圏：植物根の影響を受ける範囲

根の内部および根から数mm-10 mmの範囲



The Rhizosphere (2001)

根圏微生物：根圏で生育する微生物
糸状菌、細菌、放線菌など

高等植物の根から滲出が確認された化合物

Class of compounds	Single components
Sugars	arabinose, glucose, fructose, galactose, maltose, raffinose, ^{se}
Amino acids and amides	微生物にとって栄養源 all 20 proteinogenic amino acids, aminobutyric acid, homoserine, etc.
Organic acids	formic, acetic, malic, citric, fumaric, malonic, succinic, tartaric, etc.
Phenolics	<i>p</i> -hydroxybenzoic, caffeic, <i>p</i> -coumaric, ferulic, gallic, salicylic, etc.
Other phenolics	微生物にとって抗菌物質や誘因物質 isoflavonoids
Fatty acids and sterols	Linoleic, linolenic, oleic etc. campesterol, cholesterol etc.
Enzymes	Amylase, invertase, ribonuclease, acid phosphatase, protease, peroxidase etc.
Others	Vitamins, plant growth regulators (auxins, cytokinins, gibberellins), ethanol, H ⁺ , K ⁺ , nitrate etc.

The Rhizosphere (2001)

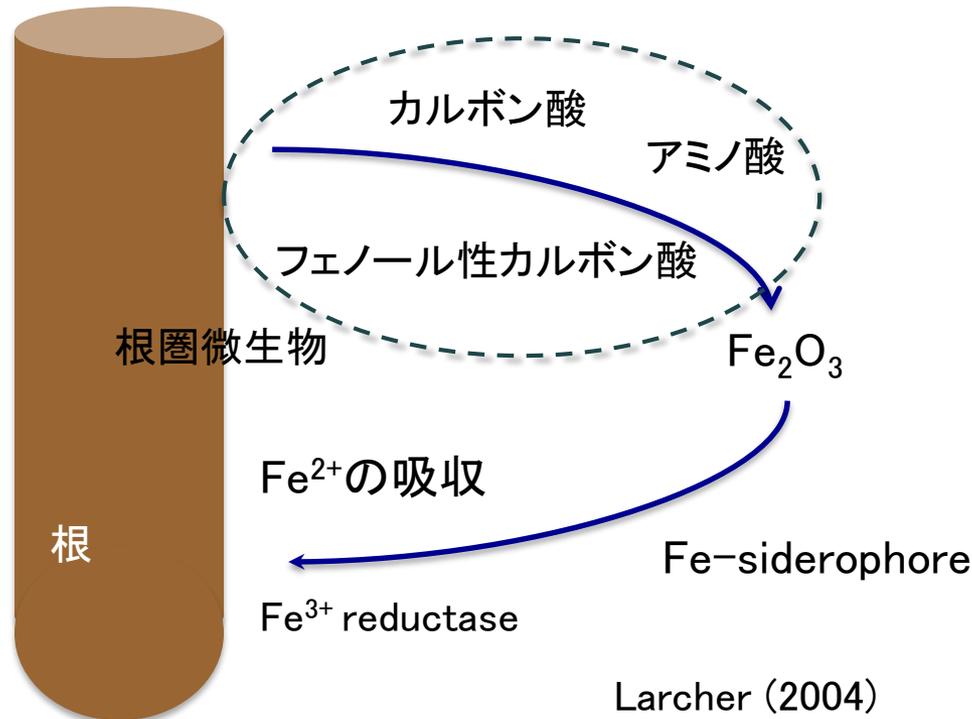
根から滲出される化合物に影響を受けるため、根圏に生息する微生物は
 土壌微生物とは異なり特殊な種類相が形成される

シデロフォア (Siderophore: 鉄を運ぶもの)

金属元素とキレート結合をする化合物の総称。土壌からの金属の溶脱に関与し、植物における元素吸収機構に関与する。

植物が産生するシデロフォア
Phytosiderohore

微生物が産生するシデロフォア
Microbial siderophore



カルボン酸の処理による 汚染土壌から¹³⁷Csの溶脱

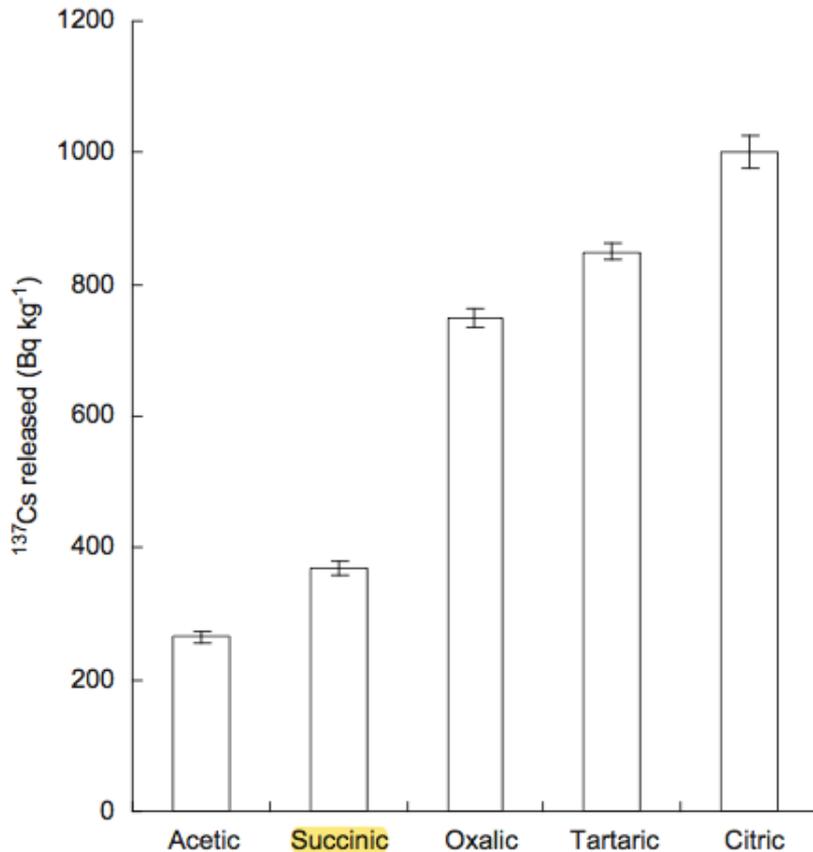


Fig. 1. Cs released from the contaminated soil treated with 0.02 M acetic, succinic, tartaric, oxalic, and citric acids at 298 K over a period of 48 h. Data represent mean \pm one standard deviation ($n=3$).

Chiang et al. (2011)

カルボン酸や細菌培養液の処理による 粘土鉱物イライトからCs及びAlの溶脱

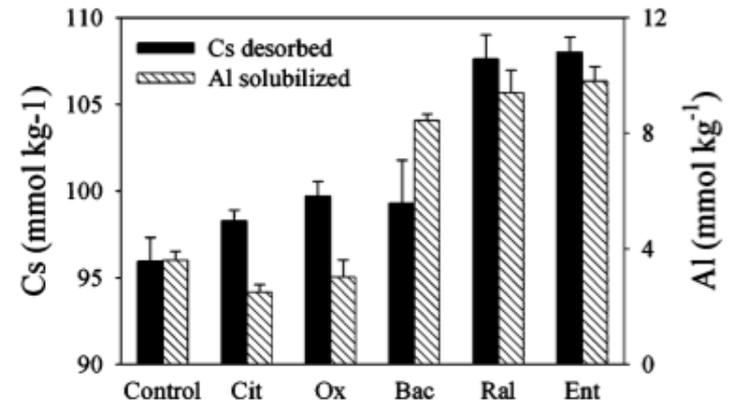


FIGURE 2. Cesium desorption and Al dissolution from illite at pH 8 following treatment with cell-free bacterial growth media (control); 0.04 mM Na-citrate (cit); 0.04 mM Na-oxalate (ox); and 0.2% *Bacillus* (Bac), 1% *Ralstonia* (Ral), and 2% *Enterobacter* (Ent) exudates solutions for 16 days. Initial concentration of Cs on illite was approximately 120 mmol kg⁻¹. Error bars denote one standard deviation.

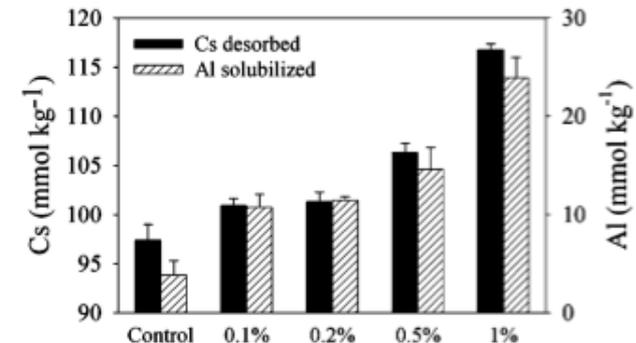
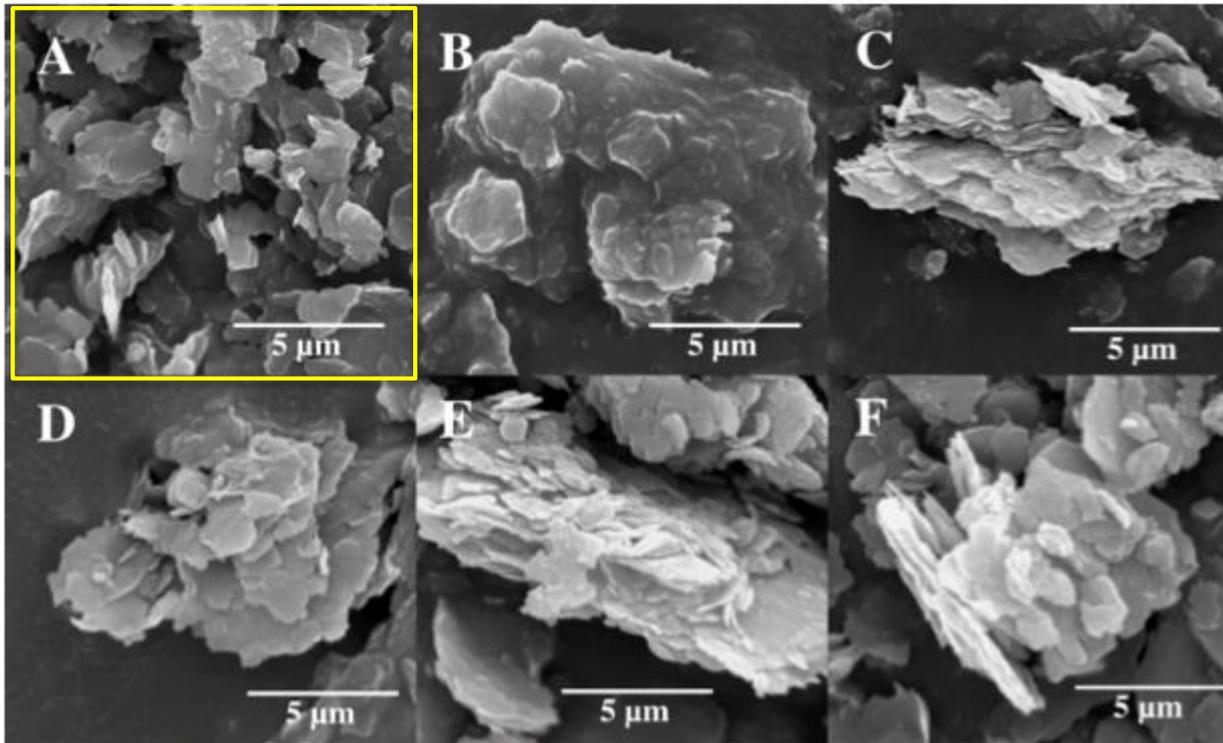


FIGURE 3. Cesium desorption and Al dissolution from illite at pH 8 following treatment with cell-free bacterial growth media (control) and 0.1, 0.2, 0.5, and 1% *Bacillus* exudate solutions for 16 days. Initial Cs concentration was approximately 120 mmol kg⁻¹. Error bars denote one standard deviation.

Wendling et al. (2005)



- イライト層の分離
- Edgeの剥離
- 粒子の凝集

FIGURE 7. Scanning electron microscopy (SEM) images of illite: untreated (A); treated with 2 mM oxalate solution (B) and 2 mM citrate solution (C) for 16 days; treated with 0.2% *Bacillus* exudate solution (D), 1% *Ralstonia* exudate solution (E), and 2% *Enterobacter* solution (F) for 240 days.

Wendling et al. (2005)

Chiang et al. (2011)による、有機酸による¹³⁷Csの溶脱メカニズム

カルボン酸由来のプロトンが粘土鉱物のFe-OやAl-O結合を弱め、さらに有機酸のリガンド部分が粘土鉱物のFeやAlとキレートすることで、結果的に¹³⁷Csの溶脱を促進する

3. 植物と根圏微生物の共生系における放射性セシウムの挙動

Root endophytic bacteria of a ^{137}Cs and Mn accumulator plant, *Eleutherococcus sciadophylloides*, increase these desorption in the soil

Journal of Environmental Radioactivity 153 (2016) 112–119



コシアブラ

- 日本固有の落葉樹であり ^{137}Cs やMnを高蓄積することが報告されている (Memon and Yatazawa, 1982 and 1984; Kiyono and Akama, 2013)。

- 重金属濃度が高い土壌で自生する植物の内生微生物が、シデロフォアを産生することで、金属の土壌からの溶脱を促進し、植物における金属吸収を増加させる (Nagata et al., 2014)。

→特殊な化学的機能を有する内生微生物が生息している可能性が考えられる。

^{137}Cs 蓄積する植物の根に生息する内生微生物を分離し
 ^{137}Cs を土壌から溶脱する能力があるかどうか解析する

コシアブラの葉、根及び根圏土壌における¹³⁷Cs濃度

	¹³⁷ Cs concentration (Bq/g)	Ratio of leaf or root content to rhizosphere soil content
Leaves	3.91 ± 1.43	1.15
Roots	1.49 ± 0.56	0.44
Rhizosphere soil	3.40 ± 1.31	

放射性Cs濃度の高いコシアブラの根から内生微生物を分離し
分離菌株のシデロフォア産生能の解析を行った。

内生細菌の分離



70% EtOH 1 min
15% H₂O₂ 15 min
70% EtOH 1 min



1193の根の切片
1% NBA及び1% TSAで
20日間培養



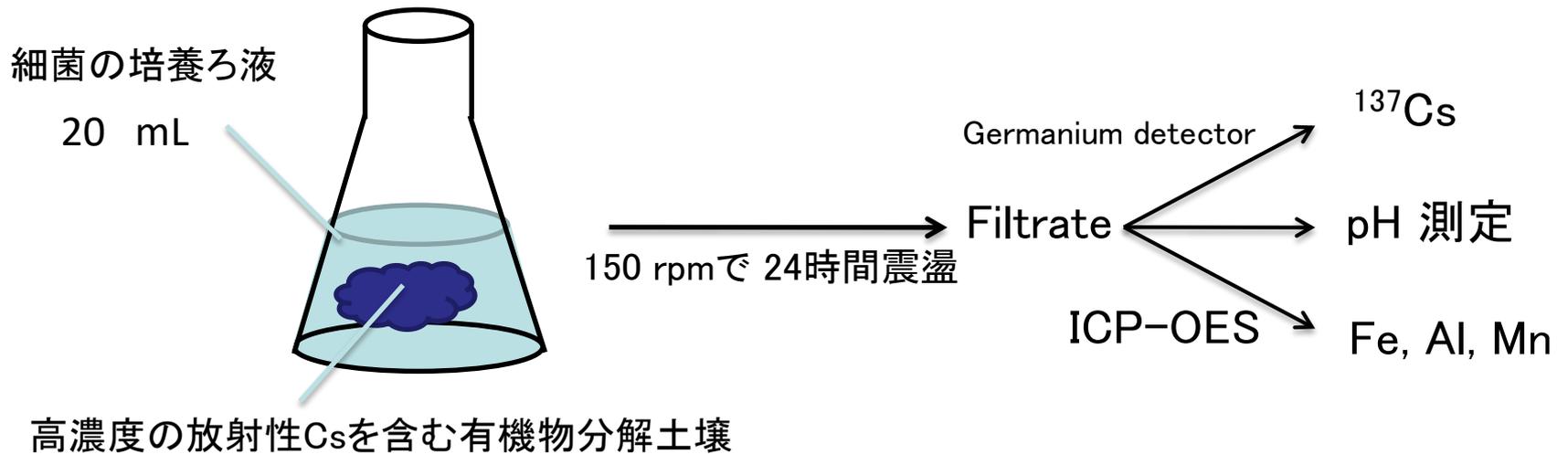
463菌株の細菌が分離された

107菌株(23%)が FeやAlと錯体形成するシデロフォアを産生

特に活性が高かった8菌株の結果 Values are means \pm SE ($n = 3$).

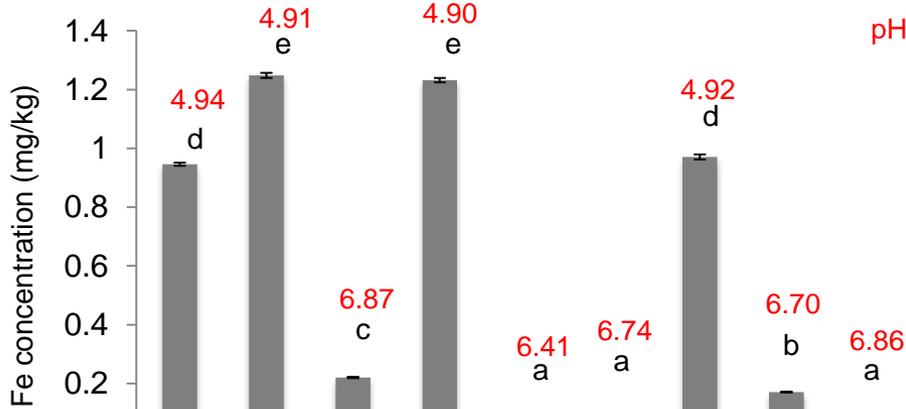
Strain	Medium for isolation	CAS Fe assay	CAS Al assay
n142	NBA	3.0 \pm 0.30	2.0 \pm 0.10
n164	NBA	2.2 \pm 0.20	2.3 \pm 0.40
n585	NBA	2.0 \pm 0.04	3.8 \pm 0.10
n1101	NBA	3.2 \pm 0.20	2.5 \pm 0.40
n3172	NBA	1.2 \pm 0.03	1.3 \pm 0.04
t114	TSA	2.0 \pm 0.04	2.2 \pm 0.20
t142	TSA	2.0 \pm 0.30	2.1 \pm 0.10
t354	TSA	4.3 \pm 0.30	3.3 \pm 0.20

高シデロフォア産生能を示した細菌産生物を用いた ^{137}Cs , Fe, Al及びMn溶脱試験

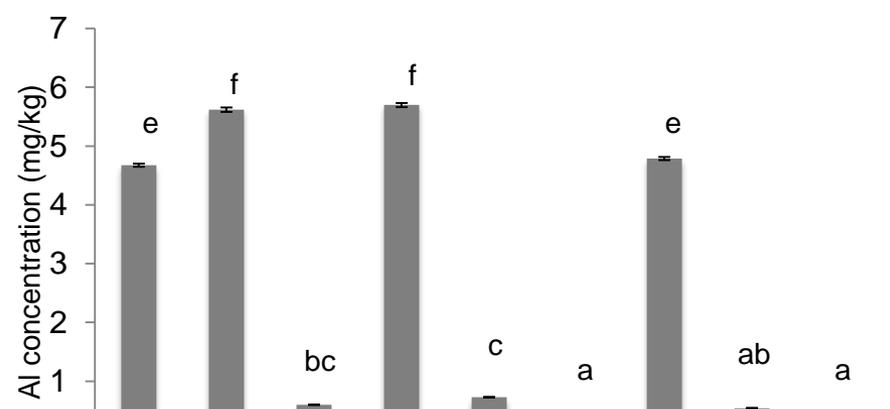


細菌産生物を用いた¹³⁷Cs, Fe, Al及びMn溶脱試験

Feの溶脱

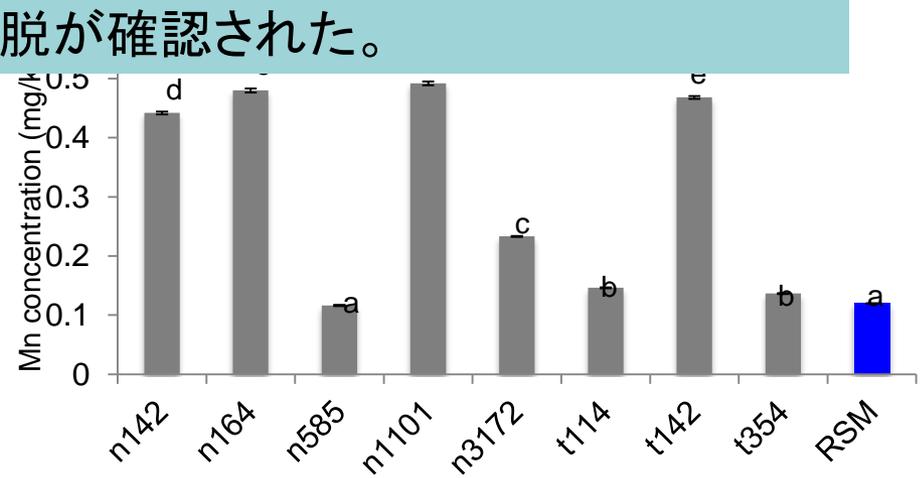
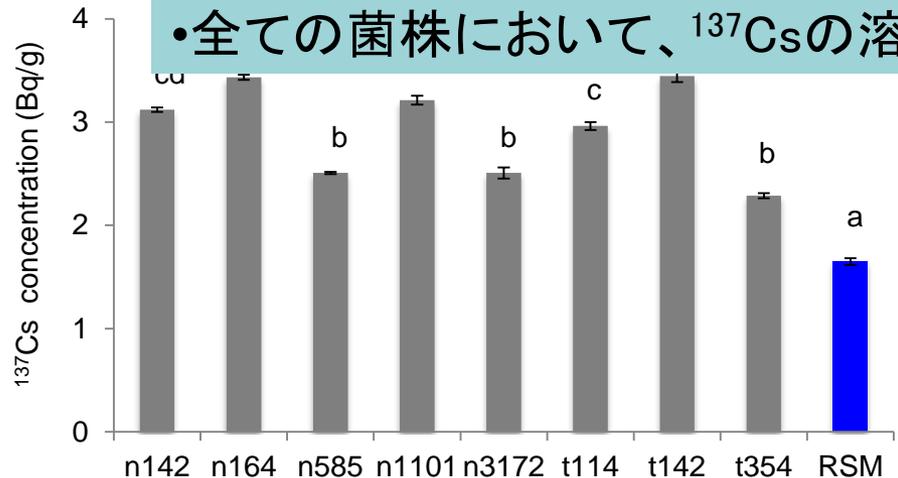


Alの溶脱



•4菌株(n142, n164, n1101, and t142)が、高いFe、Al、Mnの溶脱とpH低下を示した。

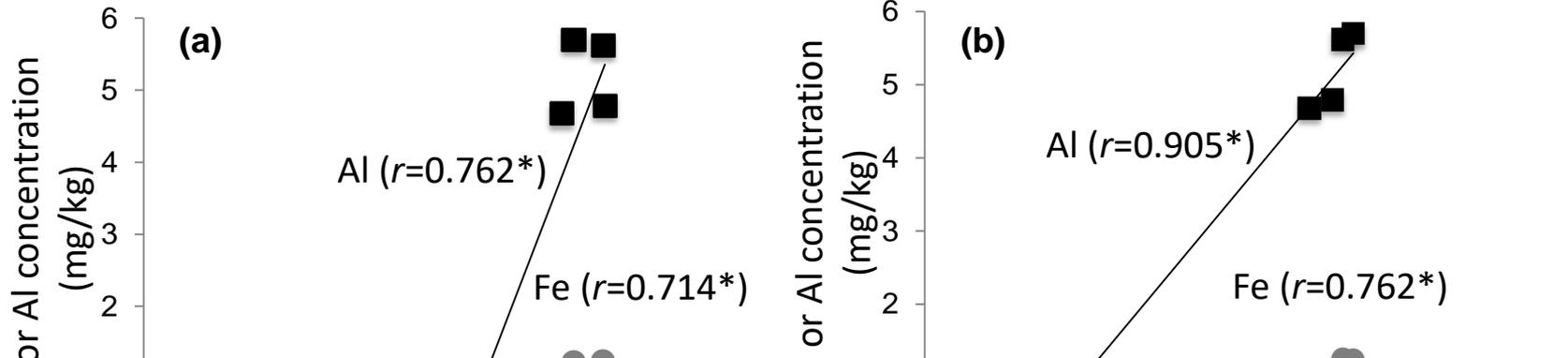
•全ての菌株において、¹³⁷Csの溶脱が確認された。



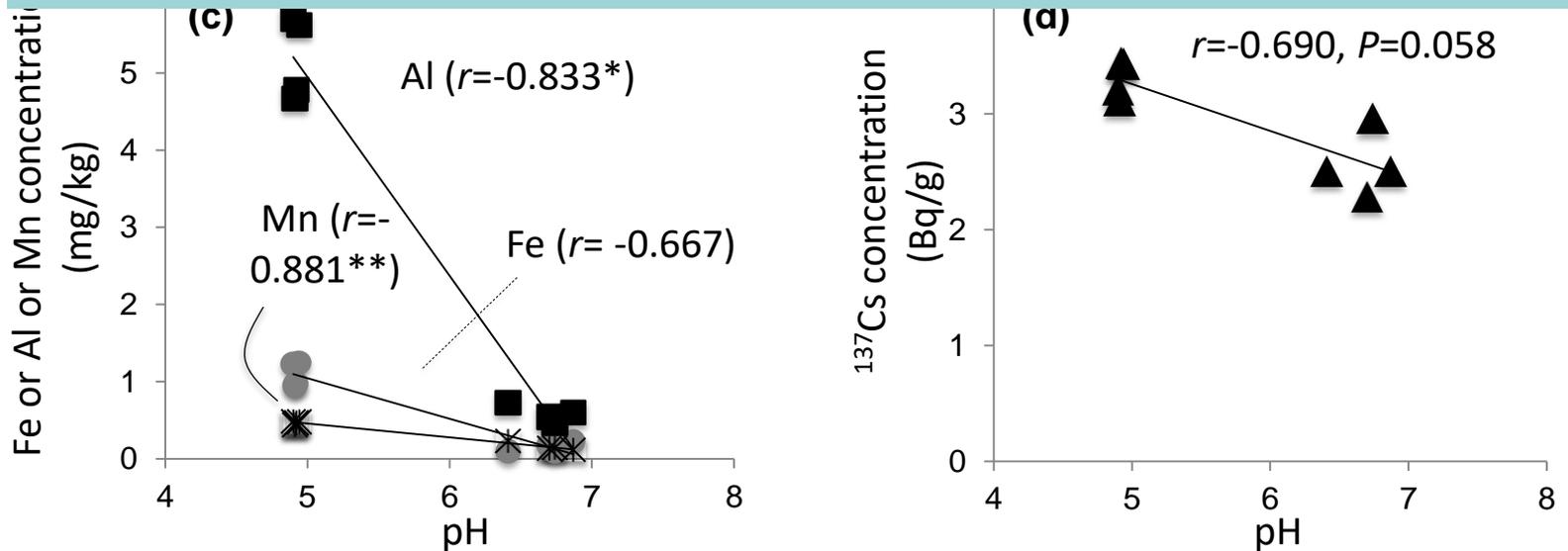
one-factor ANOVA followed by Scheffé's *post hoc* test ($P < 0.05$). \pm SE.

溶脱したFe, Al, ¹³⁷Cs, Mn, 及びpH の相関関係 (Spearman's rank correlation test)

* P<0.05, ** P<0.01

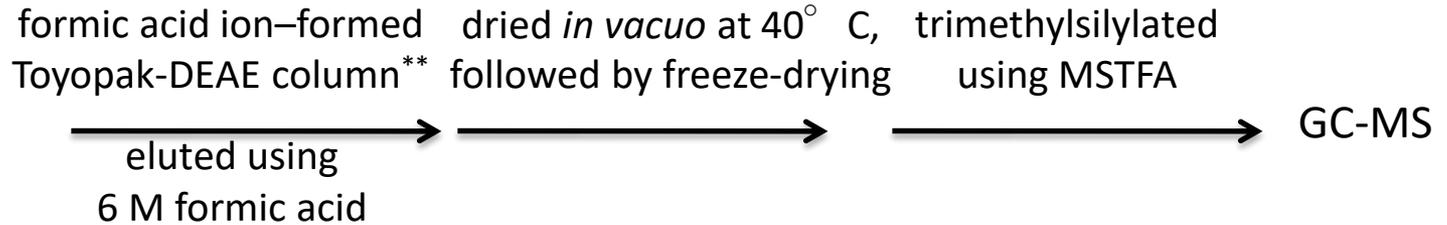


- ¹³⁷Csの溶脱は、FeやAlの溶脱と共に確認された。pH低下はAlの溶脱には重要な要因と考えられたが、Feや¹³⁷Csの溶脱には影響が低いと考えられた。
- Mnの溶脱は、FeやAlの溶脱、pH低下と共に確認された。



細菌の代謝産物に含まれる有機酸のGC-MS分析

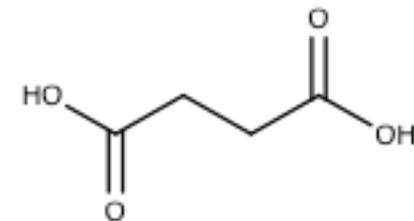
細菌の培養液



**Formic acid ion-formed DEAE can adsorb weakly acidic compounds from water.

細菌が産生する有機酸

Strain	Species	Organic acid	Concentration mM
n142	<i>Pseudomonas denitrificans</i>	n.d.	
n164	<i>Pseudomonas denitrificans</i>	n.d.	
n1101	<i>Pseudomonas citronellolis</i>	succinic acid	0.99 ±0.13
t142	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	succinic acid	1.00 ±0.03



Succinic acid

n.d., common organic acids were not detected in our analysis, but several peaks were found. These strains might produce species-specific siderophores.

コシアブラ



地上部への移行



^{137}Cs 及び Mn の吸収

内生細菌



栄養及び生息環境の提供



- シデロフォアの産生
- 生物利用性が高い ^{137}Cs や Mn の増加

• ^{137}Cs 及び Mn を蓄積するコシアブラから分離された内生細菌は、 Fe や Al をキレートするシデロフォアを産生することで、土壌から ^{137}Cs や Mn を溶脱することが明らかとなった。以上の結果より、本植物における ^{137}Cs 及び Mn 吸収に内生細菌が寄与する可能性が示唆された。