

本日の講義資料です

スマホでQRコードを読み取り、
これを見ながら講義を聞いてください。

リンクをクリックすれば詳細な説明があります。





土壌圏の科学(2024.12.11)

@農学部2号館化2教室

土壌の凍結

東京大学

大学院農学生命科学研究科

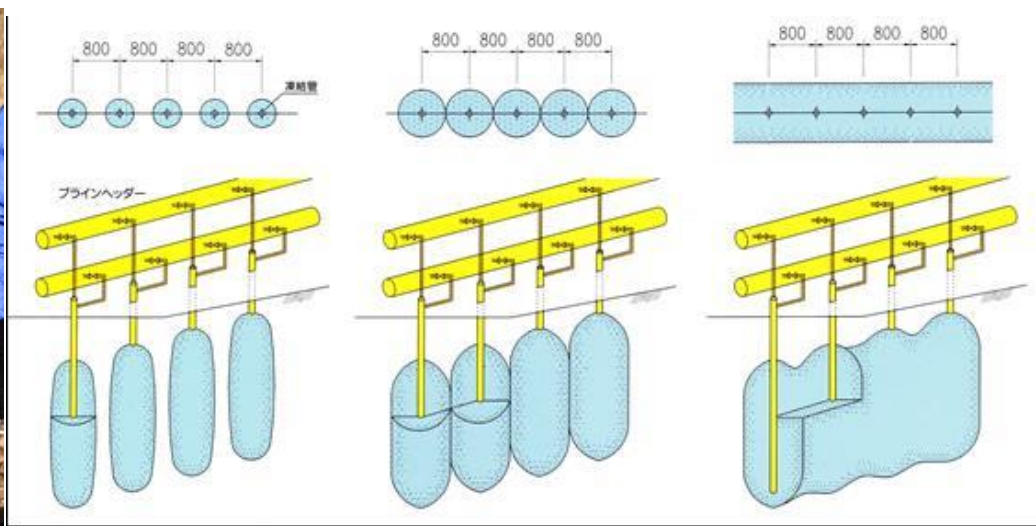
農学国際学専攻・国際情報農学研究室

教授 溝口 勝

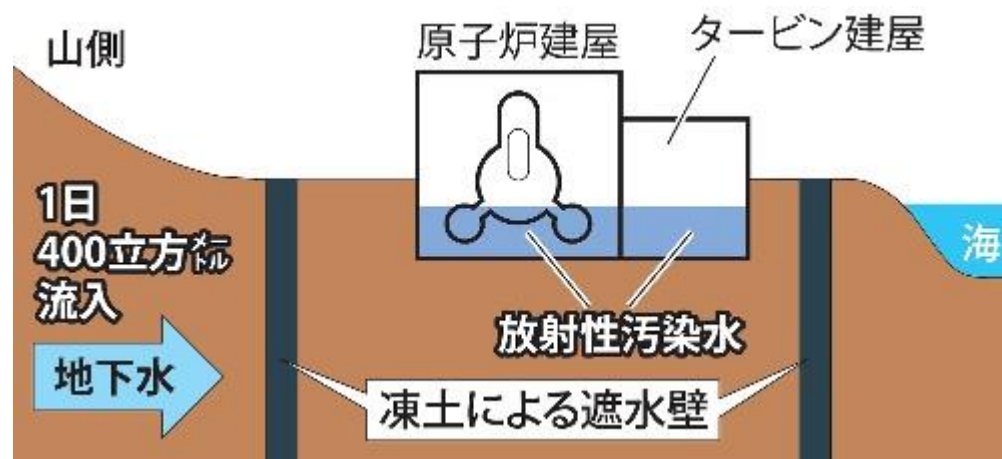
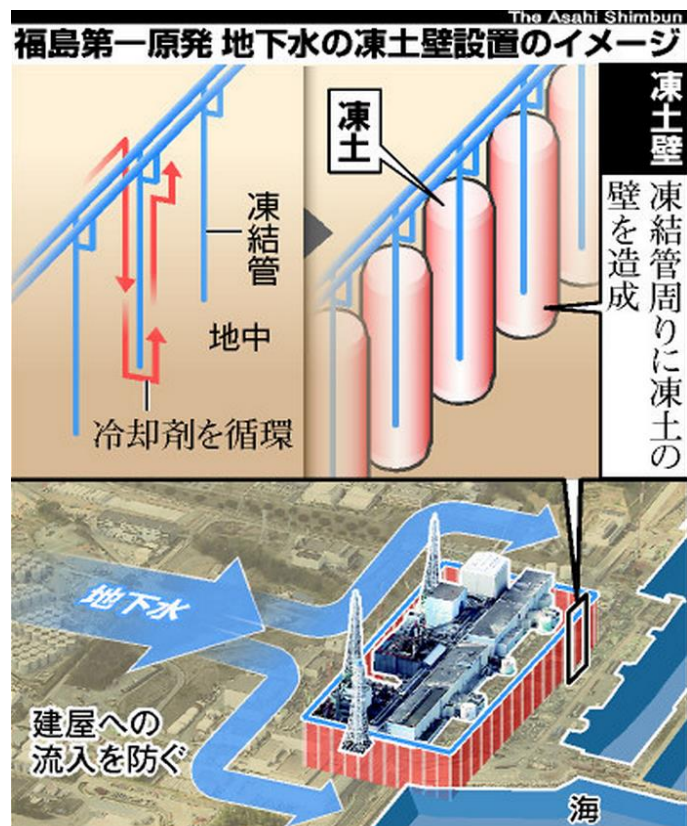
<https://forms.gle/2cThsC534LhiGV679>



いま再び
凍土が熱い！



人工凍土の遮水壁



毎日jp

福島第1原発:汚染水抑制、凍土で遮水壁設置へ
2013年05月30日

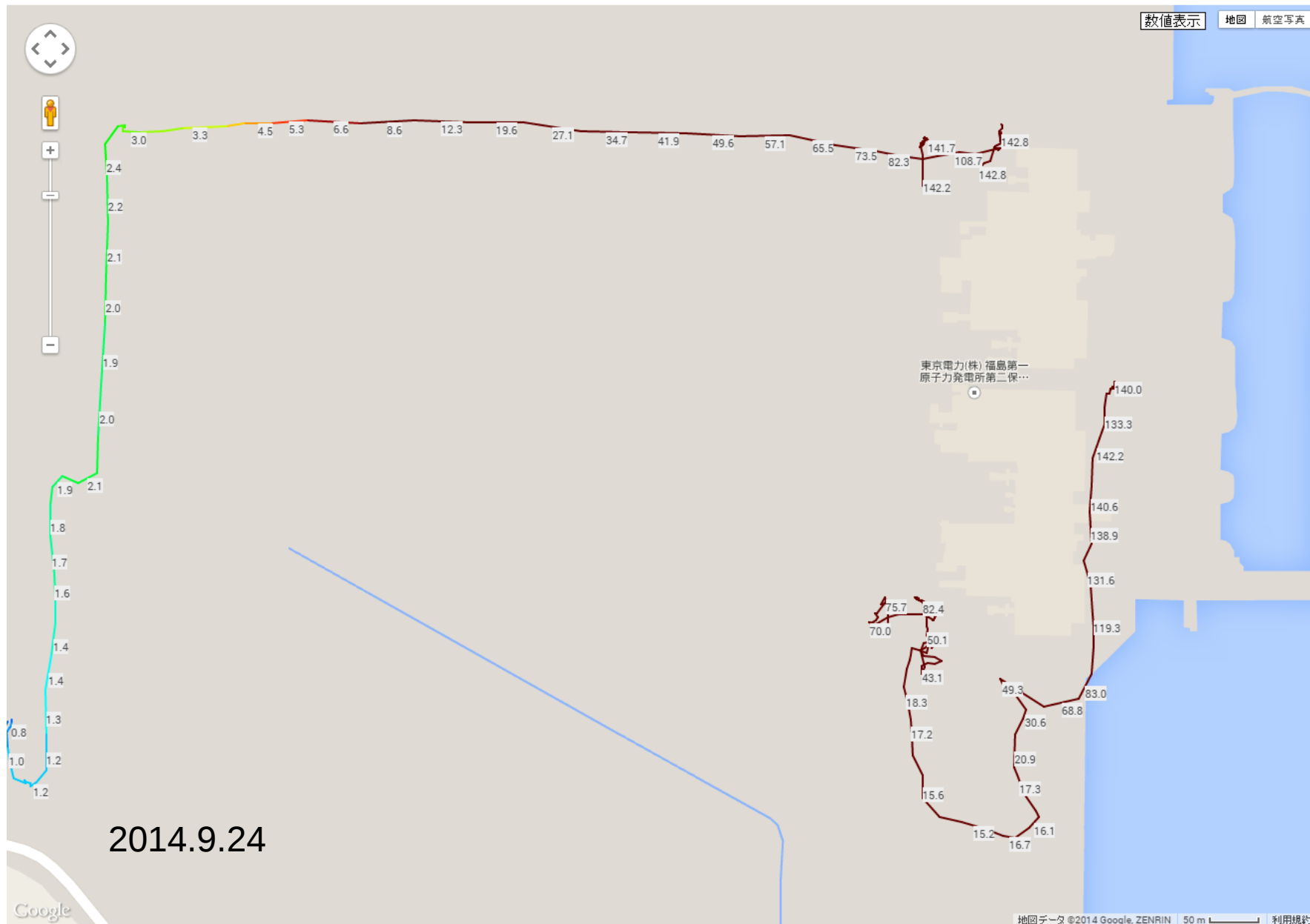


朝日新聞デジタル

福島第一原発周囲に「凍土の壁」案 経産相が東電に指示
2013年5月31日13時54分

凍土遮水壁

- 凍土方式による陸側遮水壁 (TEPCC)
- 「未来のために」凍土方式 陸側遮水壁工事
(鹿島)



地盤凍結工法における 凍土の利用

(株)精研 資料より引用

https://www.seikenn.co.jp/business/freeze_ground/index.html

https://www.seikenn.co.jp/technology/freeze_ground/index.html

凍結工法とは？

水が凍ると？

..... 硬くなる。

..... 氷は水を通さない。

凍土＝土の粒子の間の水が凍った物体



凍結工法のあゆみ

日本で発展させた技術

- ヨーロッパ生まれ、日本育ち
- 初施工：1862年イギリス（採鉱用立坑）
- その後、ヨーロッパ、旧ソ連、アメリカ・・・
- 日本での独自の研究と施行によって
- 日本初施工：大阪守口市1962年
- これまでの施工件数：約500件

凍結工法の特徴

①優れた強度

- 一軸圧縮強度 = $5\text{MN/m}^2 \cdots -10^\circ\text{C}$ 粘土凍土
- 一般的なコンクリート = 21MN/m^2

②完全な遮水性

- 透水係数 $K < 10^{-12} \text{ cm/s}$
- 砂 $\sim 10^{-3}$ 、畑の土 $\sim 10^{-5}$ 、粘土 $\sim 10^{-8} \text{ cm/s}$
- (1 m/day)、(1 cm/day)、(3 mm/year)

③均質性

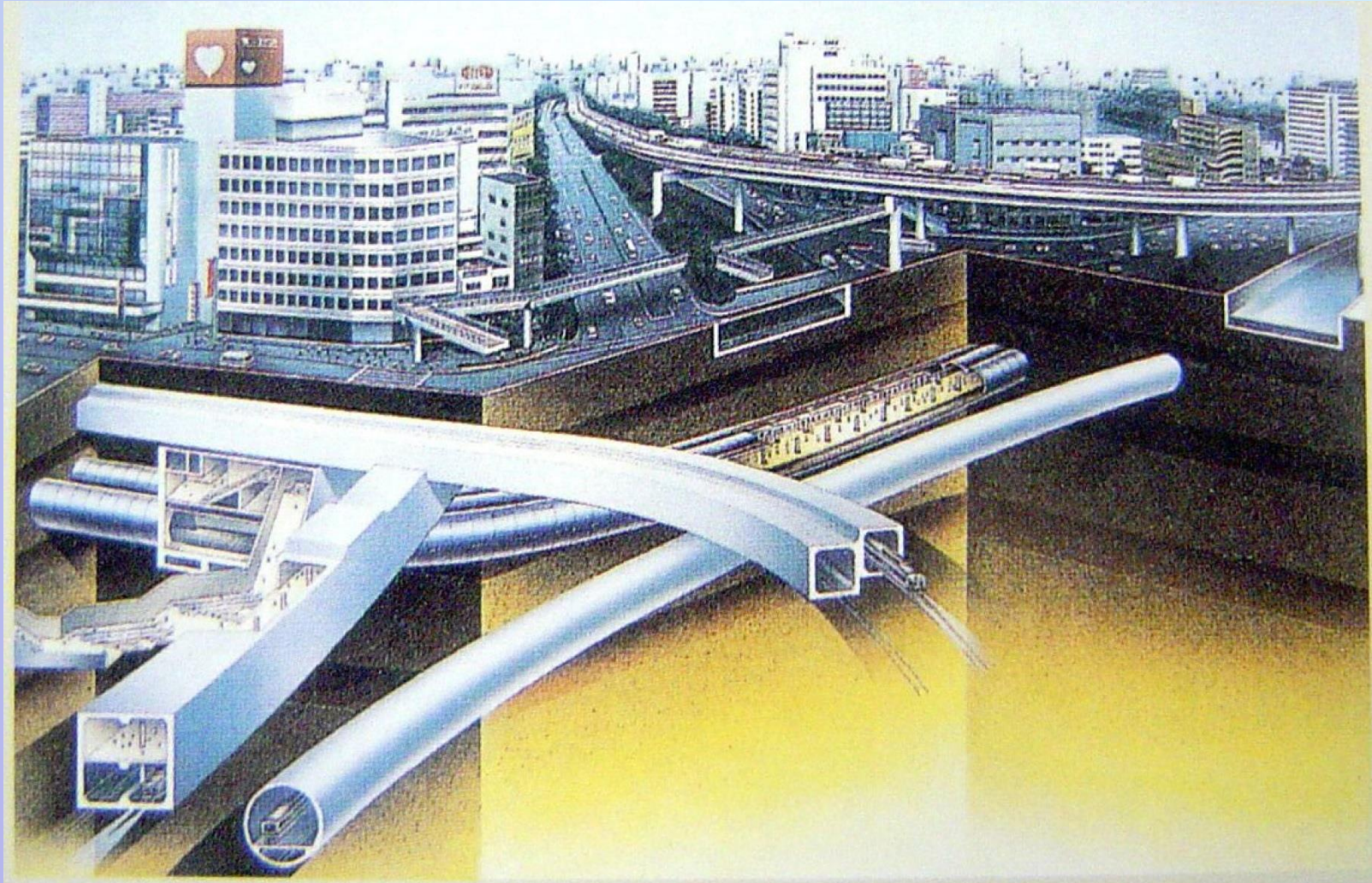
- 時間がたてば熱エネルギーが温度に高い所から低い所へ流れ、凍土壁内の温度は均一になる

④環境負荷が少ない

- 地下水汚染がない
- 解凍すると自然地盤に戻り、地下水流は工事前に戻る

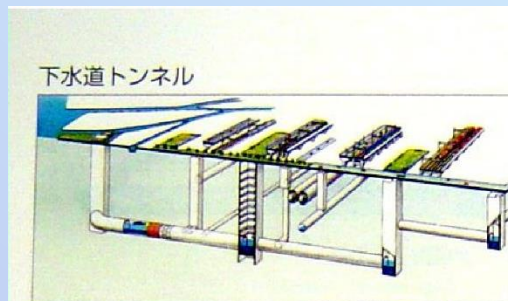
具体例ートンネル工事

- ・ 地下は都市に残された最後の空間であ



・都市部の地下は混雑！

- 新しい構造物はどんどん深く、大きくなる。
- また、日本の地下は水だらけなので、都市部ではシールド工法が数多く採用されている。



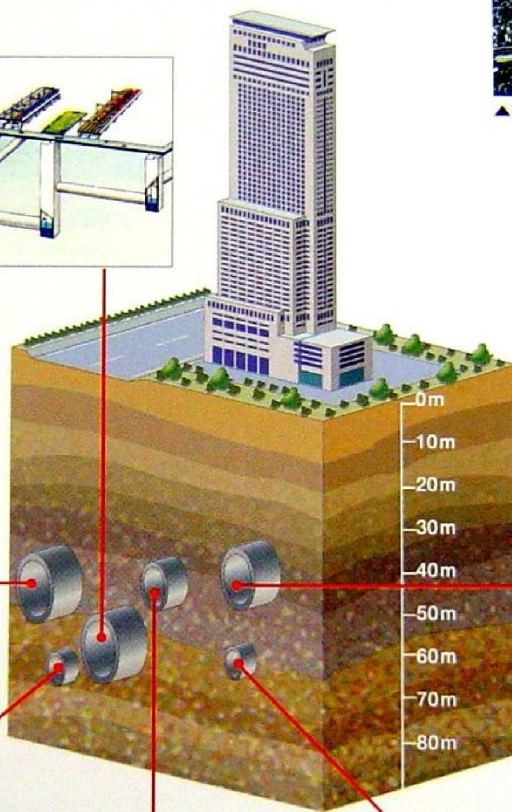
▲大阪市・十八条～西島下水道幹線

地下河川トンネル

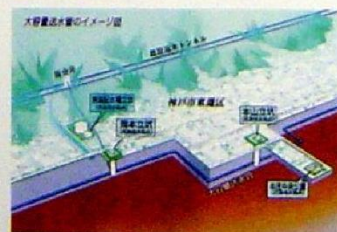


▲神田川・環状七号線地下調節池

地中送電線トンネル



送水管トンネル

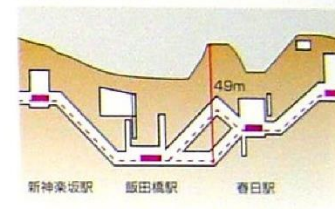


地下ガストンネル



▲東京都内地上風景

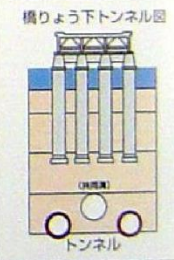
鉄道トンネル



▲都営大江戸線：飯田橋駅～春日駅



▲JR東西線/大阪市：淀川橋りょう下トンネル



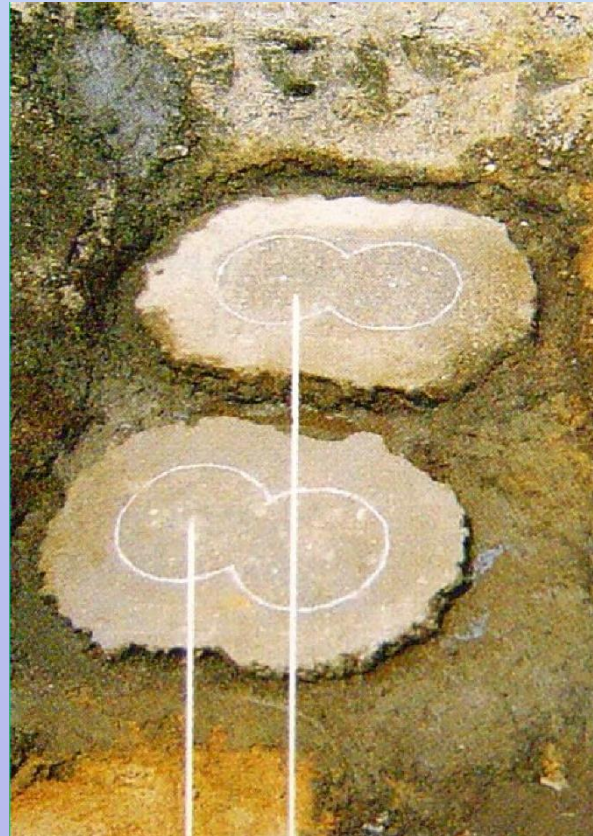
トンネル



- ・シールド発進部や接続部では立坑壁を撤去したり地山を掘削する必要。ただし、そのままでは地下水・土砂が流入

……**地盤を改良する必要がある！**

- ・ところが・・・ 大深度や大口径では薬液注入やセメント混合による地盤改良では不安が残る。



➡ ・凍土壁の利用



UMIHOTARU

360° PANORAMA VIEW



凍結工法施工例

<東京湾横断道路（東京湾アクアライン）>

- ・ H7年～9年(1995～1997)
- ・ 前例のない大規模海底トンネル工事

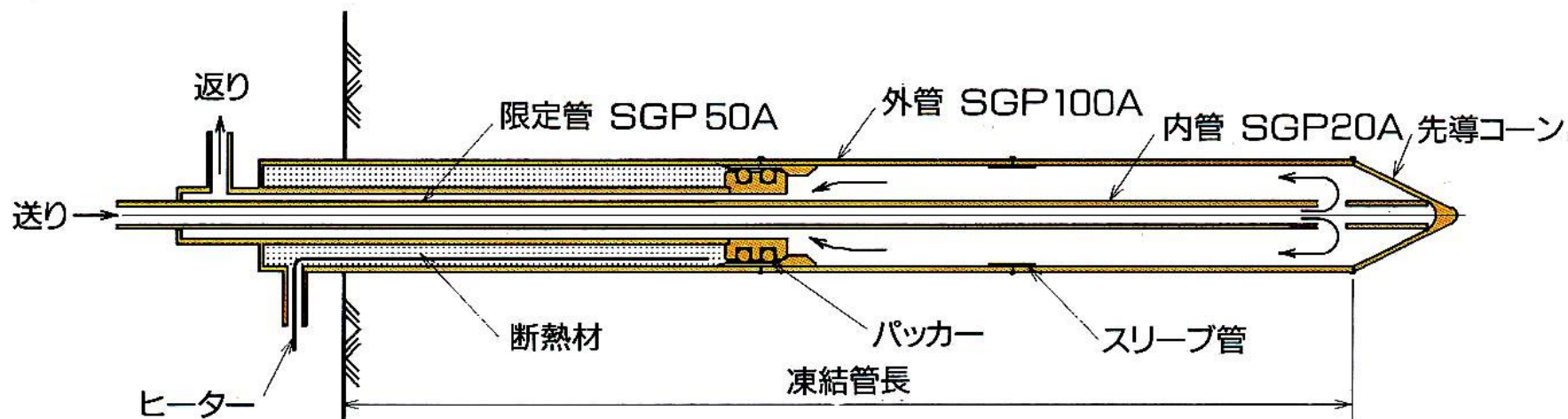






・凍結管（例：限定凍結管）

● 限定式凍結管（鉛直限定凍結管に使用）



・ 凍結管埋設のためのボーリング削孔



・ Vertical boring

冷凍機



凍結基地及びブライン配管要領図

防音ハウス



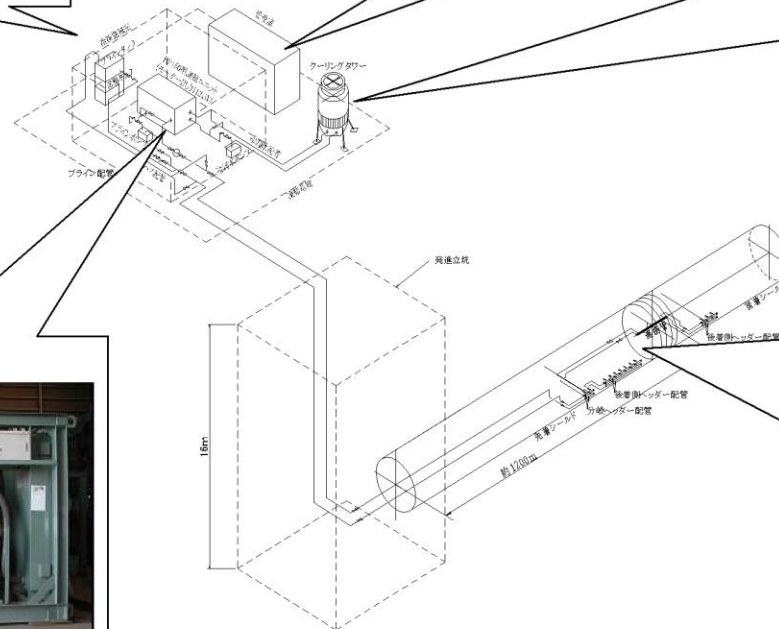
計測室



クーリングタワー



ブライン冷凍機



凍結管埋設状況



・ 凍土壁の形成

・ 約1週間後

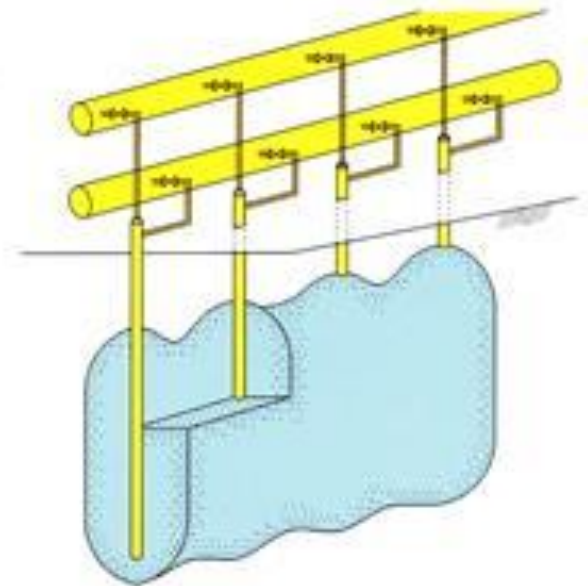
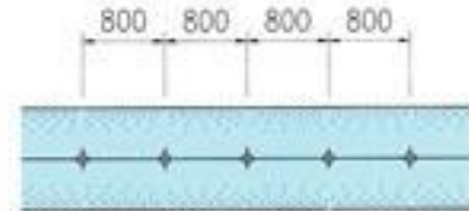
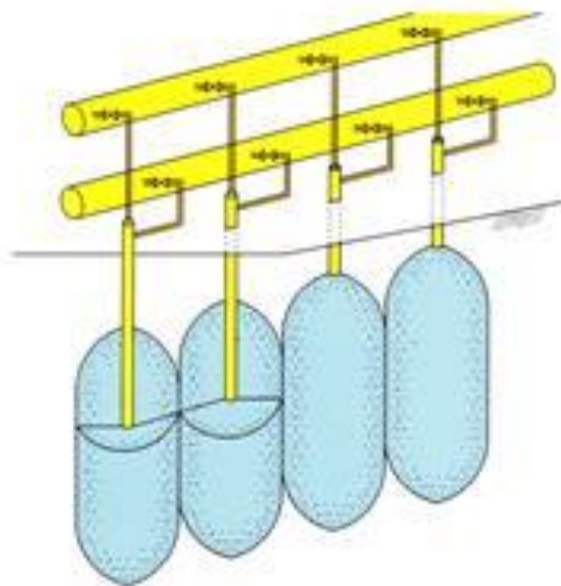
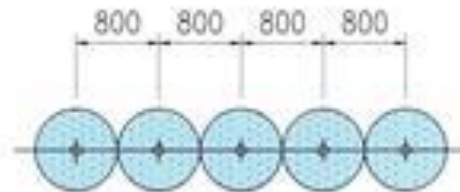
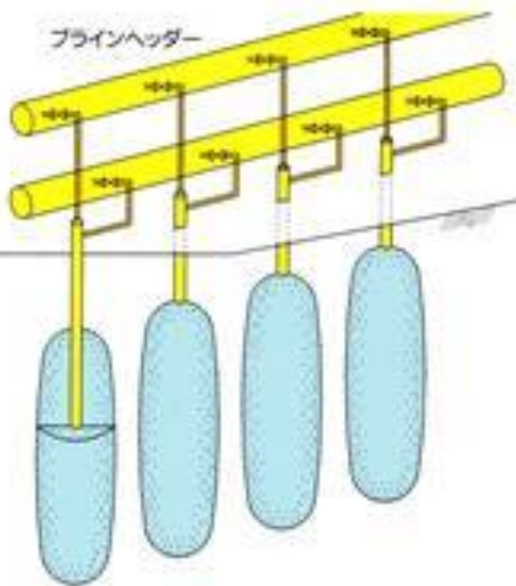
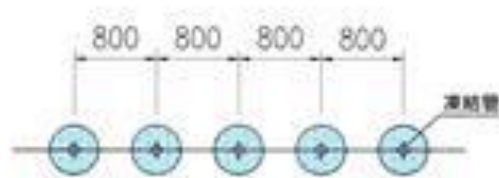
凍土柱成長中

・ 約2週間後

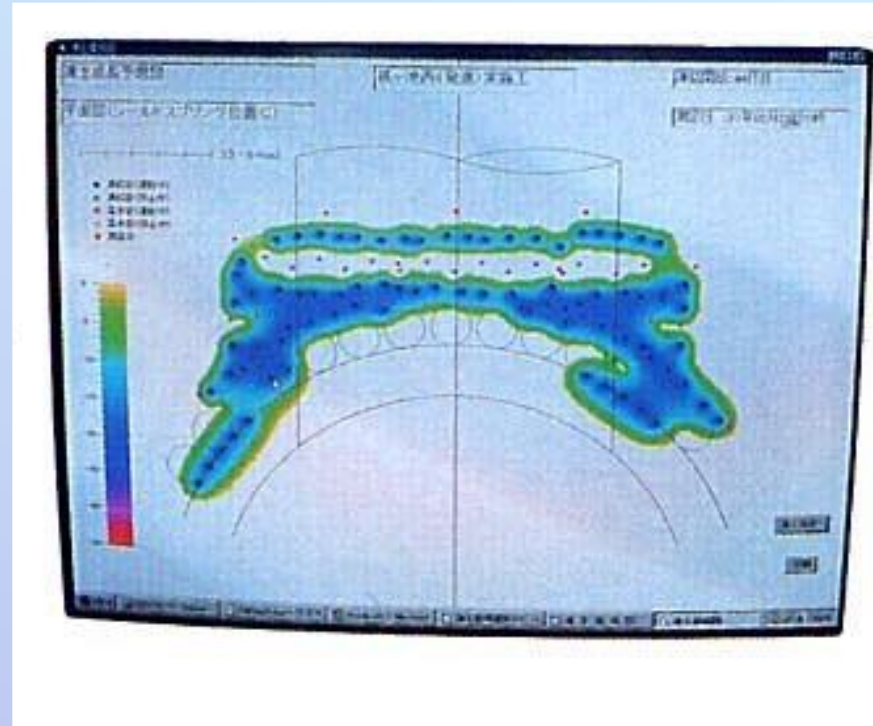
凍土柱が連続し、
凍土壁になり始める

・ 約4週間後

十分な強度と厚みの
土留め壁が完成する



・ 地中温度の計測



農学部なのに
なぜ凍土研究を始めたのか？

弥生

Yayoi

61

Fall 2013

弥生 61
目次

再生医療が驚く
動物医療の未来
食料研究が
アフリカの食糧に貢献
食料研究が
アフリカの食糧に貢献

弥生 61 目次

東京大学 大学院
農学系 農学系 農学系

Epiphanies

その瞬間

No.1

クリック

<https://www.a.u-tokyo.ac.jp/pr-yayoi/61f6.pdf>

クリスマス イブの霜柱



東京大学農学系 溝口 勝彦
Masahiko Mizuguchi

土 植物学をやりはじめたのは、学生のころ偶然出会ったある発見がきっかけです。秋の農家の夜更だだったわたしは、いよいよ自然の営みで農学部に迷い込んだのですが、入学していろいろと農学に関心につれ、正直「農学はこんなものなのか」という疑問が湧いてきました。どれもみな理屈論ばかりで、地に足がついていないように思えたのです。

いよいよ卒業を前にしたとき、「どうせ理屈論に終わるなら、いっそのこと一番実証したものをやってみよう」と思い立ち、土壌物理学の研究室に飛び込みました。土壌物理学は農学と物理学を融合して論を進めていく学問で、まさに「実証主義」の代表格に見えました。わたしは卒業のテーマを地温のサーマル解析に定め、熱電対温度計を自作して土の温度を測りはじめました。これは経験に最も適しているのは夏なのですが、実際に測り始めたのは十月末、テーマが執筆に上りはじめたのは真冬でした。そして、ちょうど

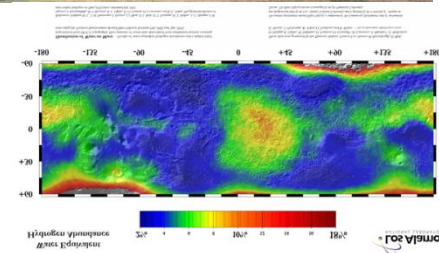
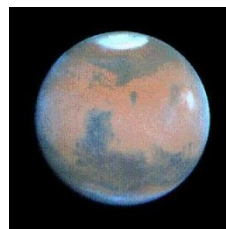
クリスマスイブの朝、ある事件が起こったのです。

明け方近くに農園小屋に行くと、マイナス10度あたりまで下がっていた地表面の温度が突然0℃になりました。「温度計が壊れた」「小屋に「壁」の二文字が凍って浮き上がった。懐中電灯を持って小屋に潜り地温を測らず、とにかく帰ってこよう。帰ってきた、それでわかったのです。この実際の温度変化は土が凍り始める瞬間の現象だということ、それがすべての始まりでした。これをきっかけに研究テーマが土の凍結現象に定まり、いつしかそれはサーマルの土壌温度調査や水文・気象学の研究との交流へとわたるようになりました。

かつて「実証主義」に傾いた土壌物理学、いまではとても実証的な学問だと思われています。たとえば農家の言葉による農地の塩害や保水事故で作られた農地塩害の対策、その地質を明らかにするのが土壌物理学です。その地への関心はわたしの、あの朝のあの発見でした。

なぜ凍土研究が必要なのか？

- 凍上害の克服
 - 道路・農地
- 凍土の利用
 - 遮水壁
 - 人工地盤凍結工法
 - 農地除染
- 地球温暖化
 - 永久凍土の融解
- 惑星
 - 水の存在



凍上害



青森県下北郡佐井村国道338号(国土交通省HP)

http://www.mlit.go.jp/river/press_blog/past_press/press/200101_06/010511/010511-2.html



牧草の断根(農研機構HP)

<http://www.naro.affrc.go.jp/org/harc/alfalfa/winter.html>

アラスカ 永久凍土地帯の住まい



アラスカ 大陸を縦断するパイプライン



(1997.6) Prof. Peter J. Williams

大都市部の地下を走る 洪水調整トンネルと凍結工法



土の凍結に関する土壌科学

霜柱



なぜ霜柱は成長するのか？

- 霜柱の上には土粒が載っている
- 2階・3階建ての霜柱もある
- 霜柱のできやすい土とは



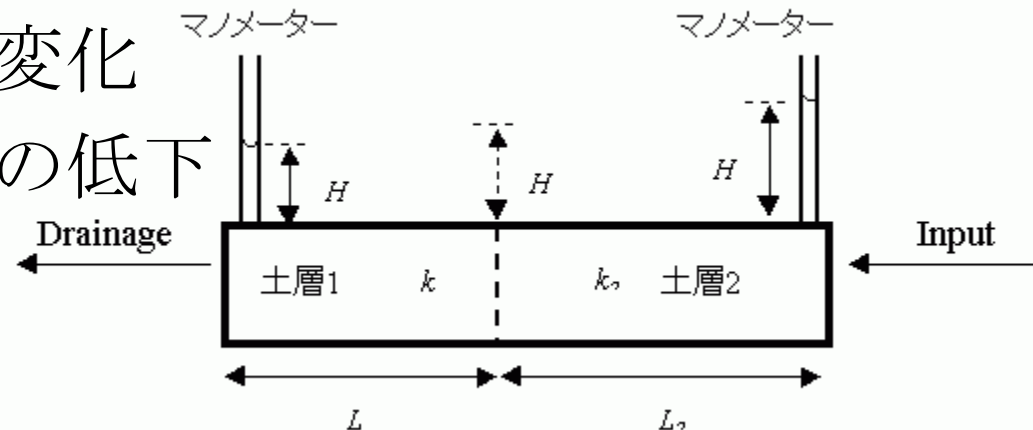
- 土壌中の熱と水分の移動が重要

凍結と蒸発を伴う水分移動

- 乾燥過程の水分移動
 - 液状水が水蒸気に相変化
 - 水ポテンシャルの低下

$$q = -k \frac{\Delta H}{\Delta x}$$

- 凍結過程の水分移動
 - 液状水が氷に相変化
 - 水ポテンシャルの低下



土壌水の上向き移動の駆動力 (毛管現象)

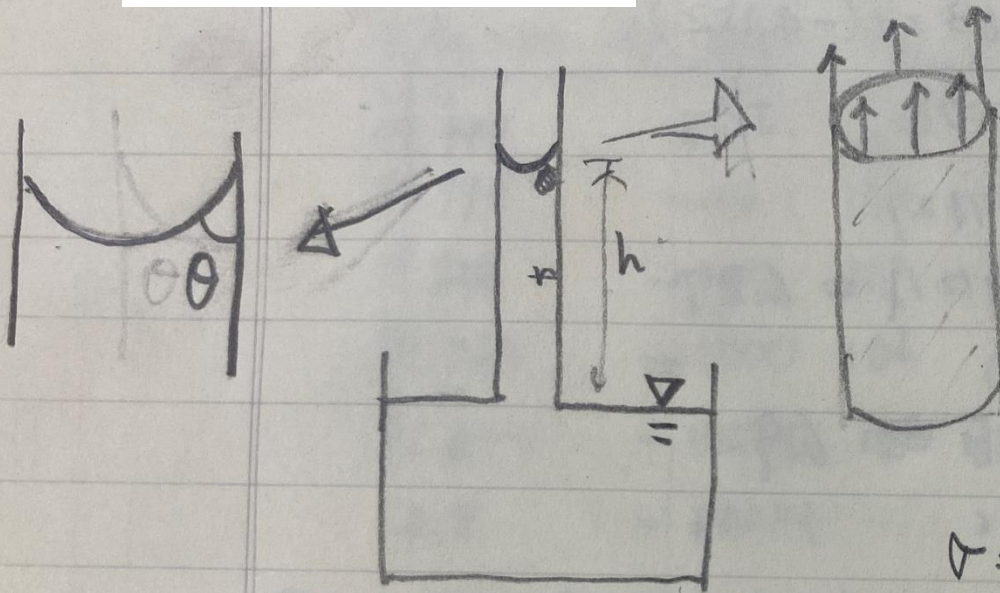


- 水は隙間を昇ってゆく
- 土はいろんな大きさの隙間で構成される
- 土の中の水は繋がっている
- 水の上昇速度は土の種類で異なる

写真： 濾紙に浸み込んで上昇する水

土壌水の熱力学(1)

- 毛管上昇



$$\uparrow 2\pi r \cdot \sigma \cos\theta = \rho g \pi r^2 h \downarrow$$

$$\therefore \rho g h = \frac{2\sigma \cos\theta}{r}$$

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r}$$

$$\sigma = 72.5 \text{ mN/m} \quad 20^\circ\text{C}$$

$$\rho = 1 \text{ Mg/m}^3$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$h = \frac{0.15}{r} \quad (\text{cm})$$

$$r = 0.1 \text{ cm (1 mm)} \rightarrow h = 1.5 \text{ cm}$$

σ : 表面張力

ρ : 密度

g : 重力加速度

凍土中におけるアイスレンズの成長

Growing Ice lenses in freezing soil



<https://youtu.be/IYHPqCenfp4>

不凍水と氷の平衡（概念図）

土の凍結に伴う水分・熱・溶質の移動現象に関する研究（溝口勝：1990年博士論文, p13より）

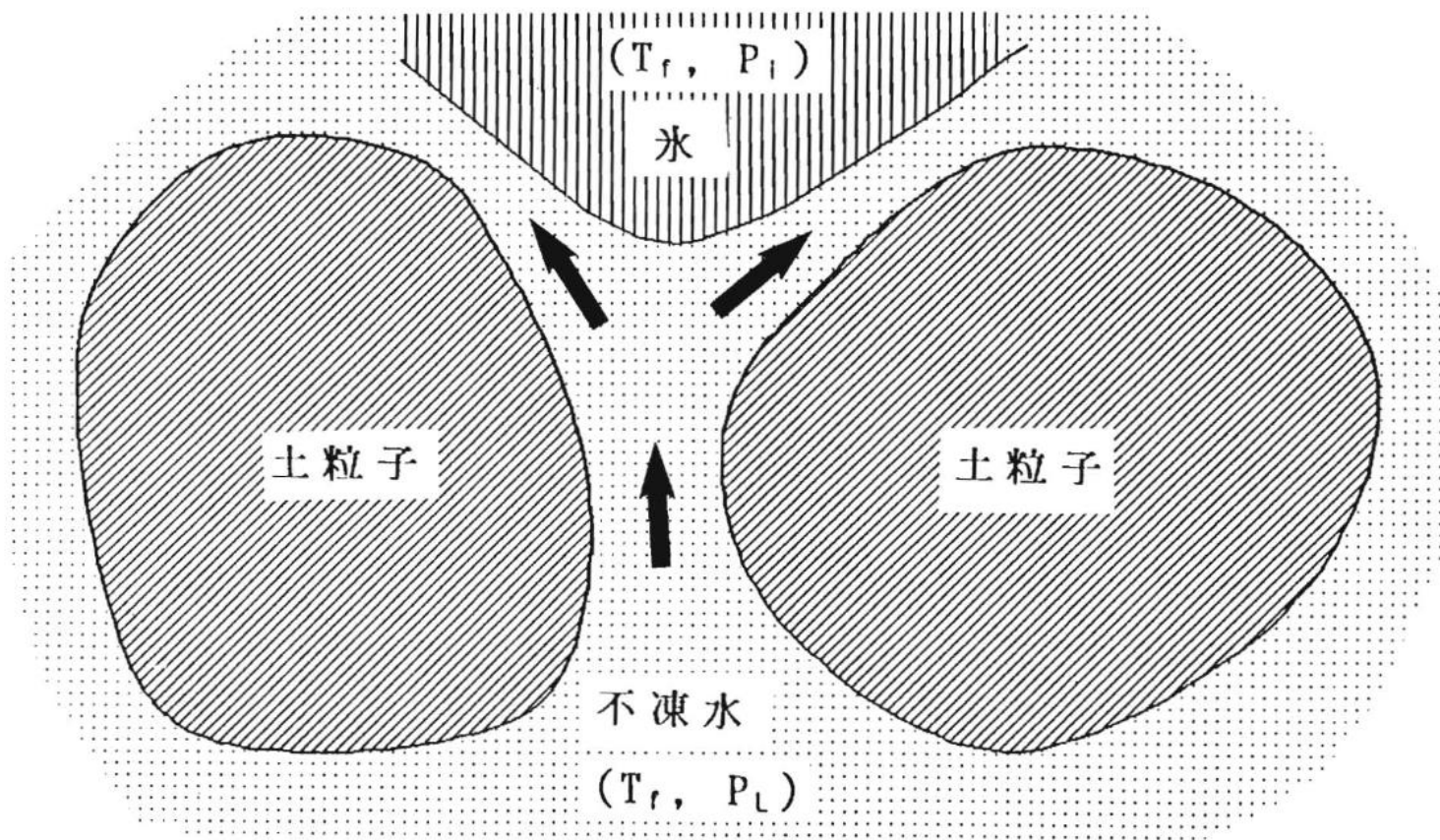
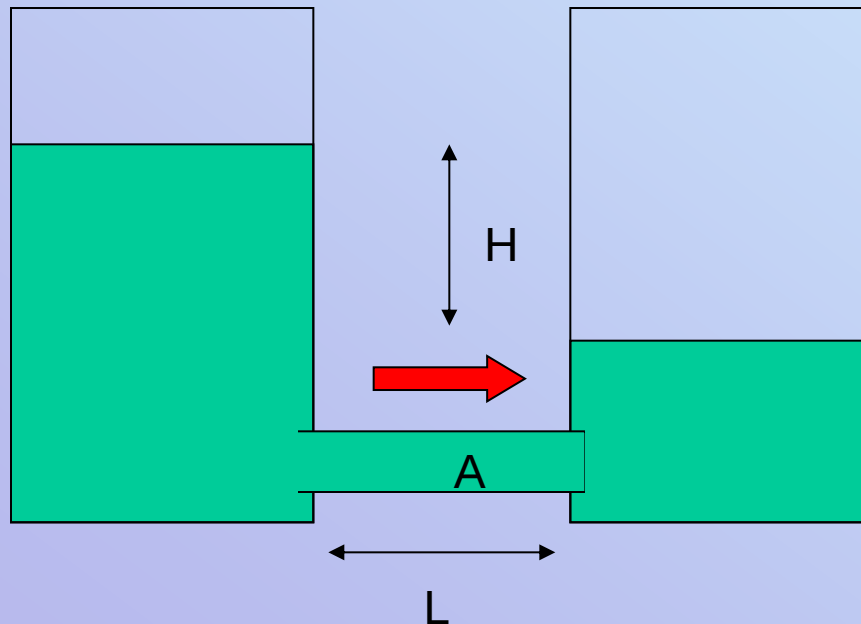


Fig.2-1 不凍水と氷の平衡（概念図）

土の透水性

ダルシーの法則: $Q = -K (H/L)A$

- ・ 水は(ポテンシャルの)高いところから低いところへ流れる
- ・ Kは土によって異なる



Q: 流量 (cm³/s)

K: 透水係数 (cm/s)

H: 水頭差 (cm)

L: 長さ (cm)

A: 通水面積 (cm²)

不凍水

0°C付近で急激に変化

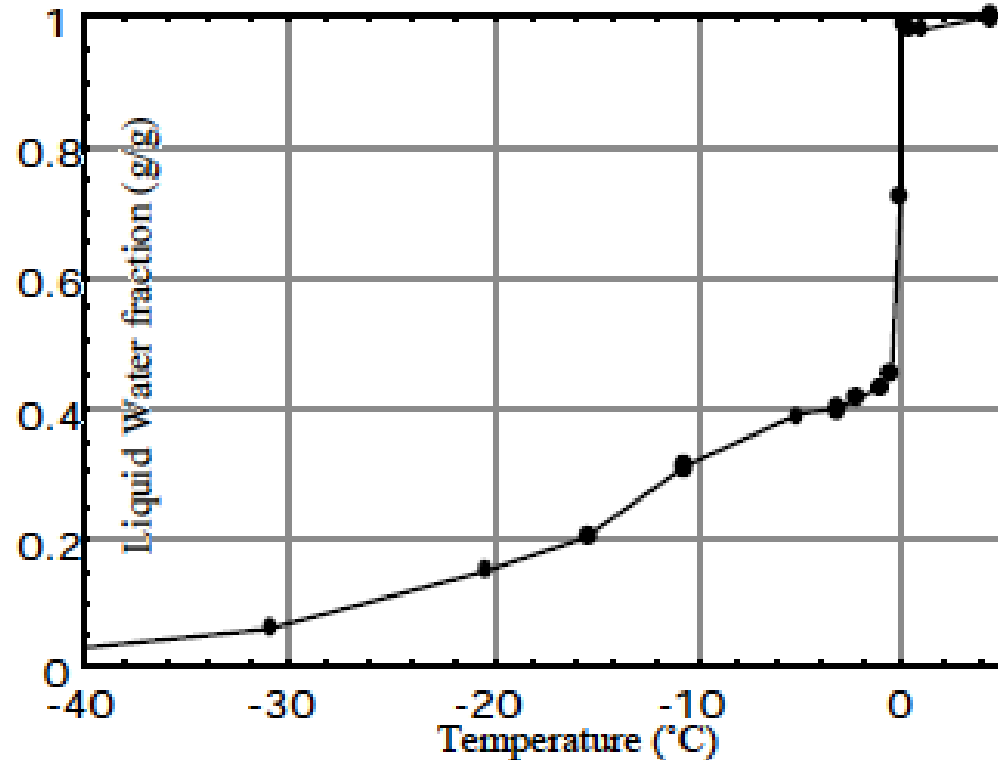


Fig. 2. Liquid water fraction in the frozen porous medium measured by NMR technique.

凍結過程の熱と水分の移動式

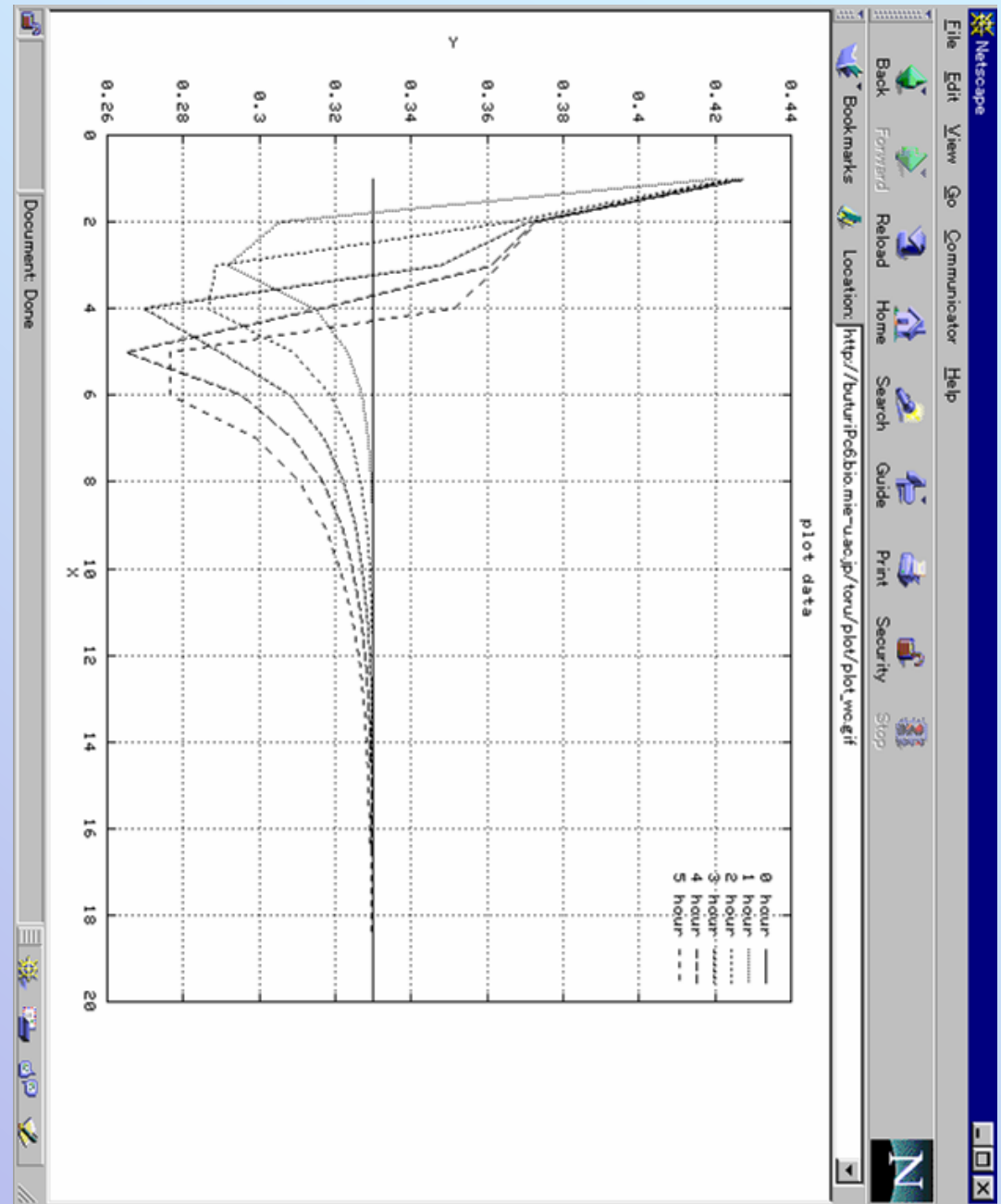
$$\begin{aligned} & \frac{\partial \theta_T(h)}{\partial t} + \frac{\rho_i}{\rho_w} \frac{\partial \theta_i(T)}{\partial t} = \\ & = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{Lh}(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K_{Lh}(h) + K_{LT}(h) \frac{\partial T}{\partial z} + K_{vh}(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} + K_{vT}(\theta) \frac{\partial T}{\partial z} \right] - S \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_p T}{\partial t} - L_f \rho_i \frac{\partial \theta_i}{\partial t} = \frac{\partial C_p T}{\partial t} - L_f \rho_i \frac{d\theta_i}{dT} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial \left(C_p - L_f \rho_i \frac{d\theta_i}{dT} \right) T}{\partial t} = \frac{\partial C_a T}{\partial t} \quad (13)$$

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L_f}{V_w T} \quad (15)$$

凍結過程の 土壌水分移動 (1984-1990)

- 凍結前線に土壌水が集まる
- 凍土中の液状水（不凍水）が減少



土壌水の熱力学(2)

- サクション(水ポテンシャル)

$$h = (RT/Mg)\ln(P_s/P_0) \doteq 3 \times 10^6 \log(P_s/P_0) \quad (\text{cm})$$

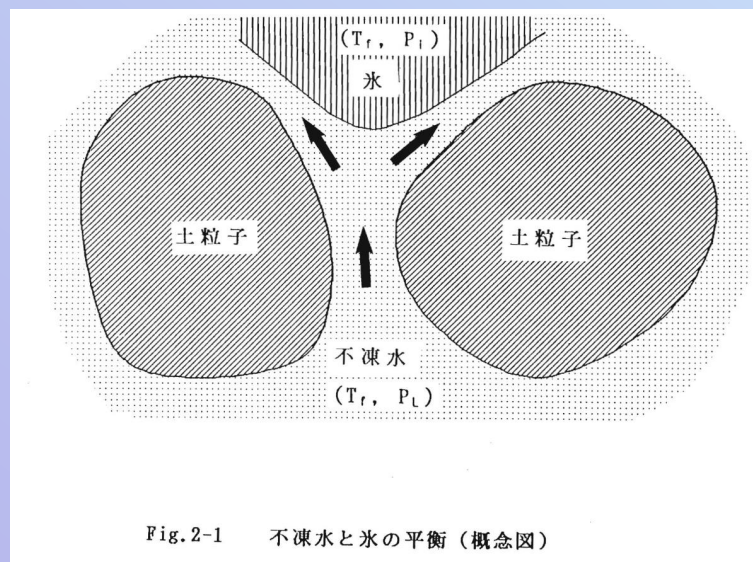
$$pF = \log |h|$$

R: ガス定数 T: 絶対温度 M: 水の分子量

P_s/P_0 : 相対湿度

– 相対湿度80%, 20°Cでは、 $pF=5.5$

思考実験



化学ポテンシャル

熱力学第1法則

$$dU = dQ + dW...①$$

体積仕事だけの場合

$$dW = -PdV \quad ...②$$

熱力学第2法則

$$dQ = TdS \quad ...③$$

①②③より

$$dU = TdS - PdV \quad ...④$$

ギブスの自由エネルギー

$$G = U + PV - TS \quad ...⑤$$

$$dG = VdP - SdT \quad ...⑥$$

化学ポテンシャル

= 1モルあたりの自由エネルギー

$$G / n \equiv \mu \quad ...⑦$$

$$d\mu = v dP - s dT \quad ...⑧$$

温度一定では $d\mu = v dP - s dT \quad ...⑨$

吸着水と水蒸気の平衡 (温度一定)

水蒸気Aと水蒸気B(C)の化学ポテンシャル差 $=P_s$ を P_0 にするために必要な仕事量

$$\mu_0 - \mu_s = \int_{P_s}^{P_0} v dP = \int_{P_s}^{P_0} \frac{RT}{P} dP = -RT \ln\left(\frac{P_s}{P_0}\right) > 0$$

$$PV = nRT \rightarrow v = \frac{V}{n} = \frac{RT}{P}$$

P:水蒸気圧 v:体積(比容積)

R:ガス定数 T:絶対温度

P_s/P_0 :相対湿度

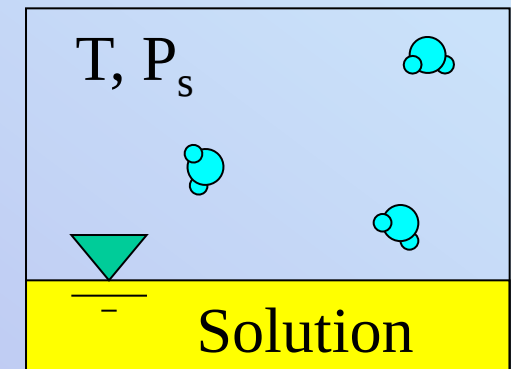
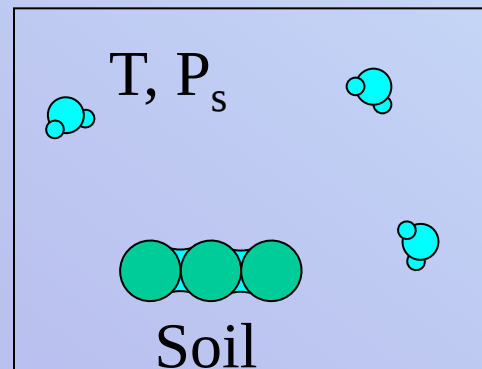
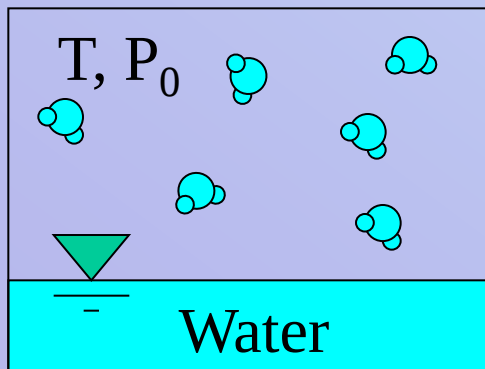
理想気体の状態方程式
ファントホッフの法則

実在気体
実在溶液

$$\left(\frac{P_s}{P_0}\right)$$



フガシティー
活量



(A) 水蒸気—純水

(B) 水蒸気—土壌水

(C) 水蒸気—溶液

吸着水の化学ポテンシャル (単位エネルギー)

①モルあたり J/mol $\Delta\mu_s(T) = \mu_s(T) - \mu_0(T) = RT \ln\left(\frac{P_s}{P_0}\right) < 0$

②質量あたり J/kg $\Delta\mu_s(T) = \frac{RT}{M} \ln\left(\frac{P_s}{P_0}\right)$

③体積あたり J/m³ = Pa: 圧力 $\Delta\mu_s(T) = \frac{\rho RT}{M} \ln\left(\frac{P_s}{P_0}\right)$

④重量あたり J/gw = m: 水柱高 $\Delta\mu_s(T) = \frac{RT}{gM} \ln\left(\frac{P_s}{P_0}\right)$

$R=8.314$ (J/mol/K), $T=293.15$ K(20°C), $\rho=10^3$ (kg/m³), $M=18 \times 10^{-3}$ (kg/mol),
 $g=9.8$ (N/kg), $\ln\left(\frac{P_s}{P_0}\right) = 2.3 \times \log\left(\frac{P_s}{P_0}\right)$

③ $\Delta\mu_s(T) = \frac{10^3 \times 8.314 \times 293.15}{18 \times 10^{-3}} \times 2.3 \times \log\left(\frac{P_s}{P_0}\right) = 3.11 \times 10^8 \times \log\left(\frac{P_s}{P_0}\right)$ [Pa]

相対湿度と吸着水のポテンシャル

相対湿度	水ポテンシャル (20°C)				
P_s/P_0	J/kg	③ Pa	④ cmH ₂ O	⑤ pF	
1	0	0	0	∞	
0.99999	-1	-1000	-10.2	1	
0.99993	-10	-10000	-102	2	
0.99926	-100	-100000	-1020	3	
0.99264	-1000	-1000000	-10200	4	
0.92877	-10000	-10000000	-102000	5	
0.8	-30214	-30214000	-308185	5.5	

$$\textcircled{4} \quad \Delta\mu_s(T) = \frac{8.314 \times (273.15 + 20)}{9.8 \times 18 \times 10^{-3}} \times 2.3 \times \log\left(\frac{P_s}{P_0}\right) = 3.18 \times 10^6 \times \log\left(\frac{P_s}{P_0}\right) \quad [\text{cm}]$$

$$\textcircled{5} \quad pF = \log |cmH_2O|$$

風乾土の吸着水の化学ポテンシャル

例題1. 相対湿度80%, 20°Cの水蒸気と平衡する土壤の吸着水のpFを求めよ。

解答: ④より $\Delta\mu_s(T) = 3.18 \times 10^6 \times \log(0.8) = 3.18 \times 10^6 \times (-0.0969) = -3.08 \times 10^5$ [cm]

⑤より $pF = \log|-3.08 \times 10^5| \approx 0.5 + 5 = 5.5$

解説: 相対湿度80%は日本の大部分の地域の年平均値である。土を自然に乾燥させた「風乾土」のpFは5.5くらいと記憶しておくが良い。

炉乾土の吸着水の化学ポテンシャル

例題2. 相対湿度80%, 20°Cの実験室にある105°Cの乾燥炉で乾燥した土壌の吸着水のpFを求めよ。

解答: 20°Cにおける飽和水蒸気圧=23.39 [hPa]

乾燥炉に供給される水蒸気圧=23.39×0.8=18.7[hPa]

105°Cで液状水と平衡する飽和水蒸気圧=1209[hPa]

乾燥炉内の相対湿度=18.7/1209=0.01546 (約1.5%)

④より

$$\Delta\mu_s(105) = \frac{8.314 \times (273.15 + 105)}{9.8 \times 18 \times 10^{-3}} \times 2.3 \times \log(0.015) = 17820 \times 2.3 \times (-1.82) = -7.46 \times 10^6 \text{ [cm]}$$

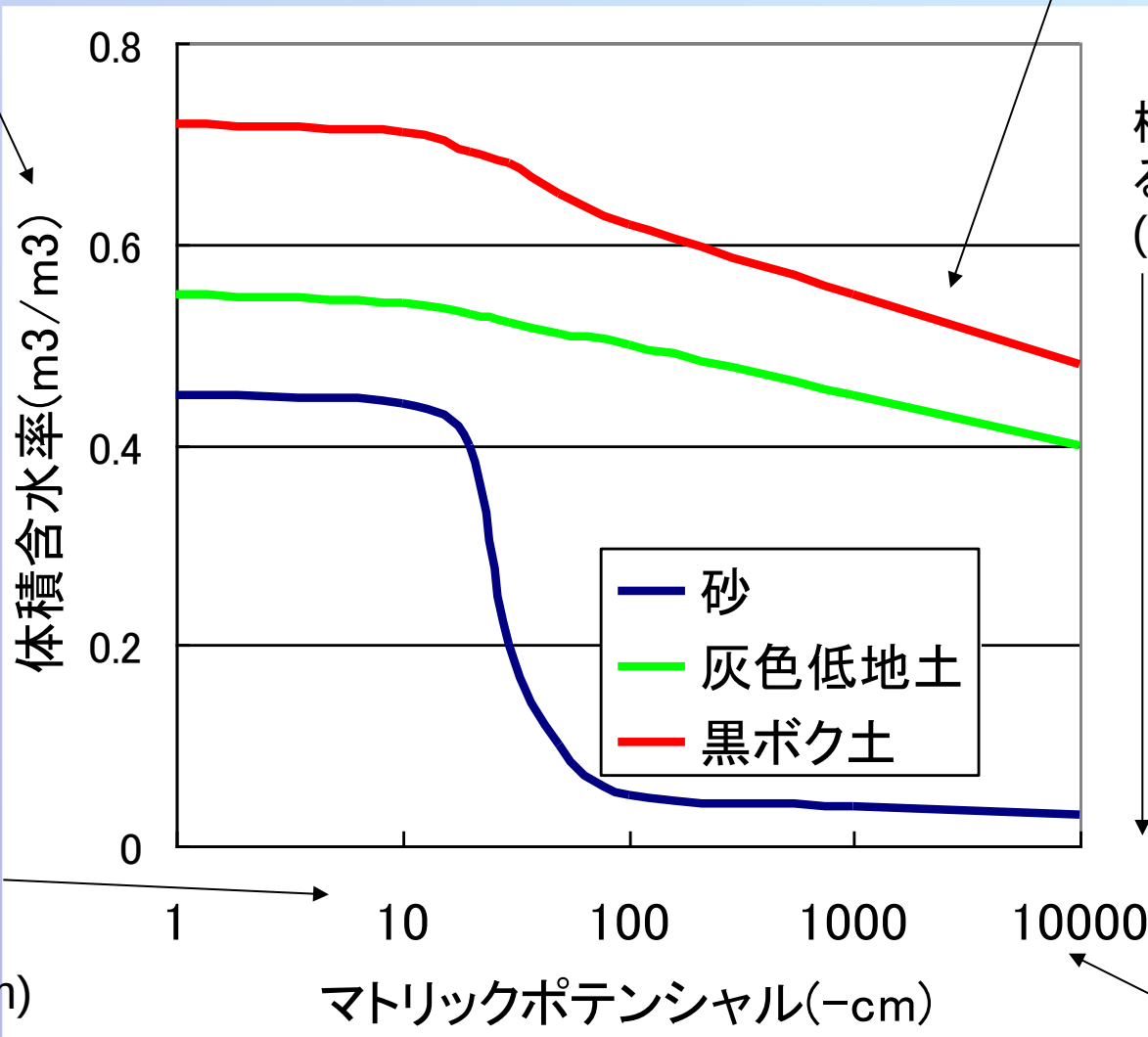
$$pF = \log|-7.46 \times 10^6| \approx 0.87 + 6 = 6.9$$

解説: 105°Cの電気炉で乾燥させた土壌にも計算上はわずかに水分が残っていることになる。

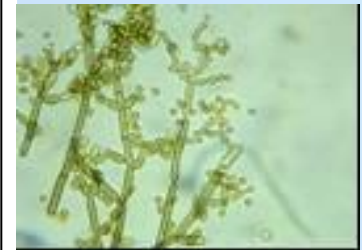
土の保水性 (水分特性曲線)

土の塊に含まれる水の体積

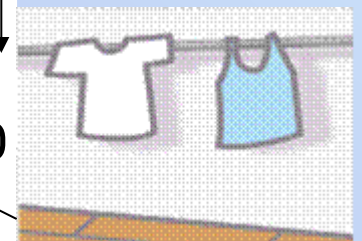
植物の成長に影響



植物が枯れる水分量
(15000)



カビも発生しやすい
湿度99.3%



水面から高さ
10cmの水分量

$$h = 0.15/r \text{ (cm)}$$

地球温暖化と永久凍土

優れた地球環境センサー

シベリア調査

- ツンドラ (N72°)
– 1997年・1998年夏
- タイガ (N62°)
- アラス (N62°)
– 2000年夏



シベリア地域の全体図



Tundra basin near Tiksi (全景)



Tundra basin near Tiksi, Russia, surveyed in August, 1998

穴を掘るのも一苦労

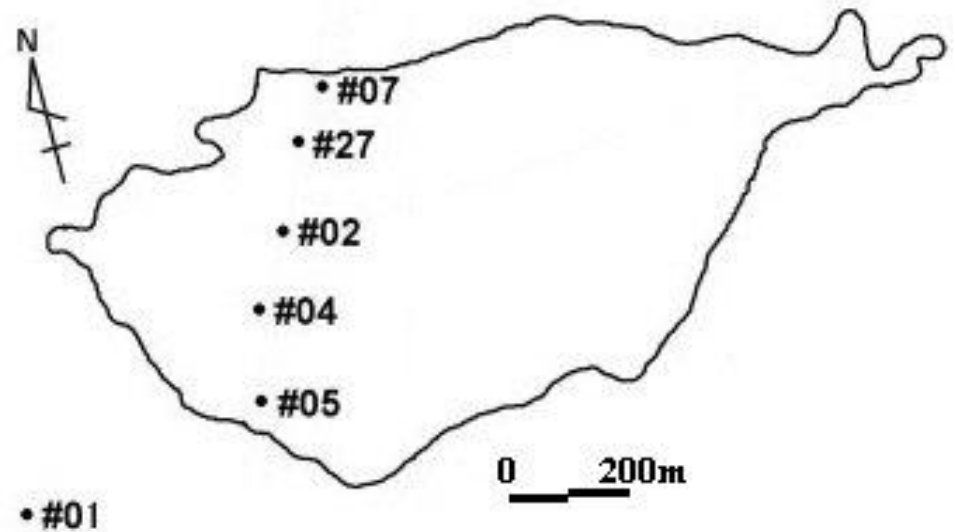


GAME-Siberia (1997-2000)



アラス調査 (2000)

- 湖や草原
 － 塩類土壌



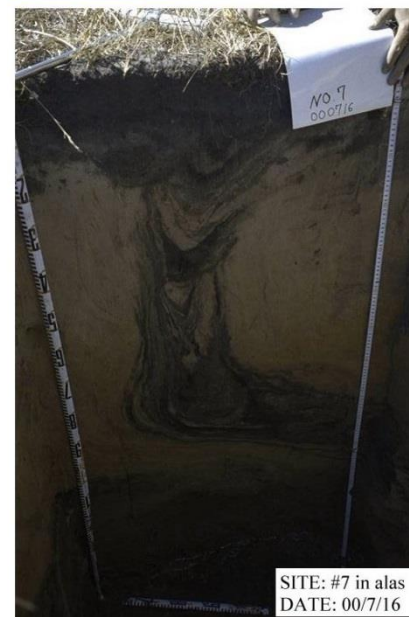
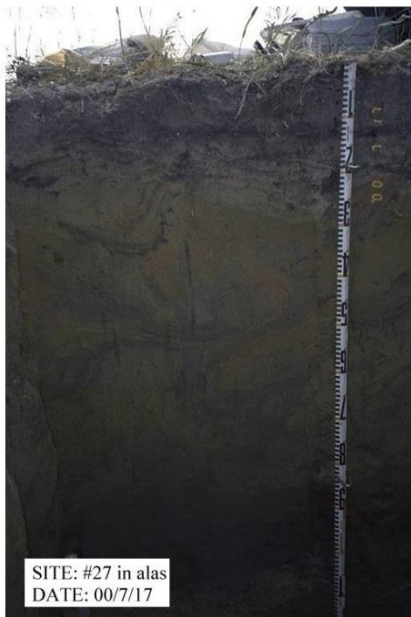
レナ川を横切る



穴に埋まって、はいポーズ

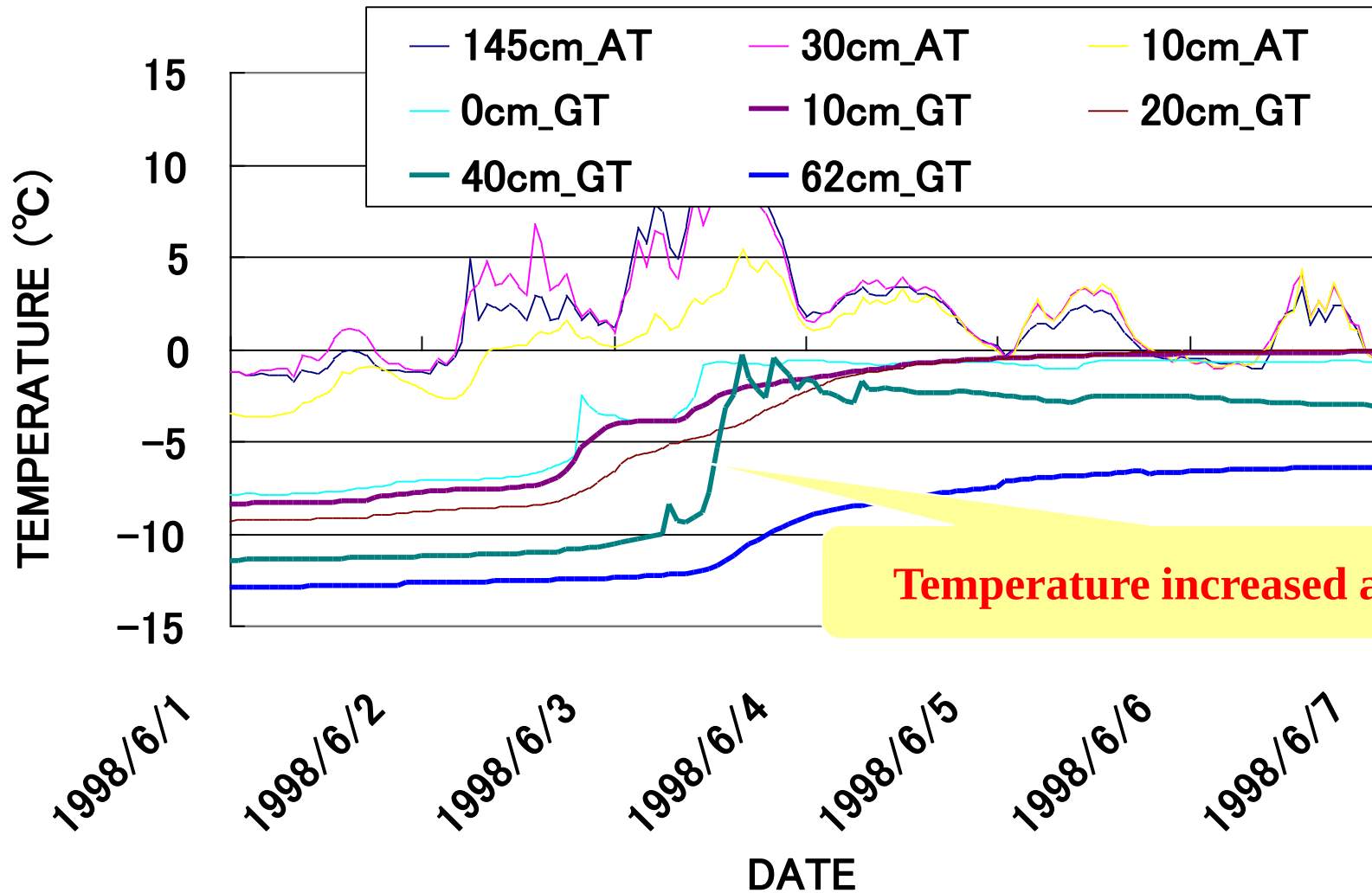


アラスの土壤断面



地温上昇の謎

AIR AND SOIL TEMPERATURE IN SUMMER TUNDRA



危険物処理班？

蚊から身を守る



わずかなスペースを見つけて



蚊から身を守る

ツンドラ構造土



ツンドラ土壌調査報告(写真集)

1997.8.10-8.22

<http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/~mizo/photo/siberia97/tundra/tundra.html>

永久凍土地帯に突如現れた巨大クレーター

気になる温暖化との関係

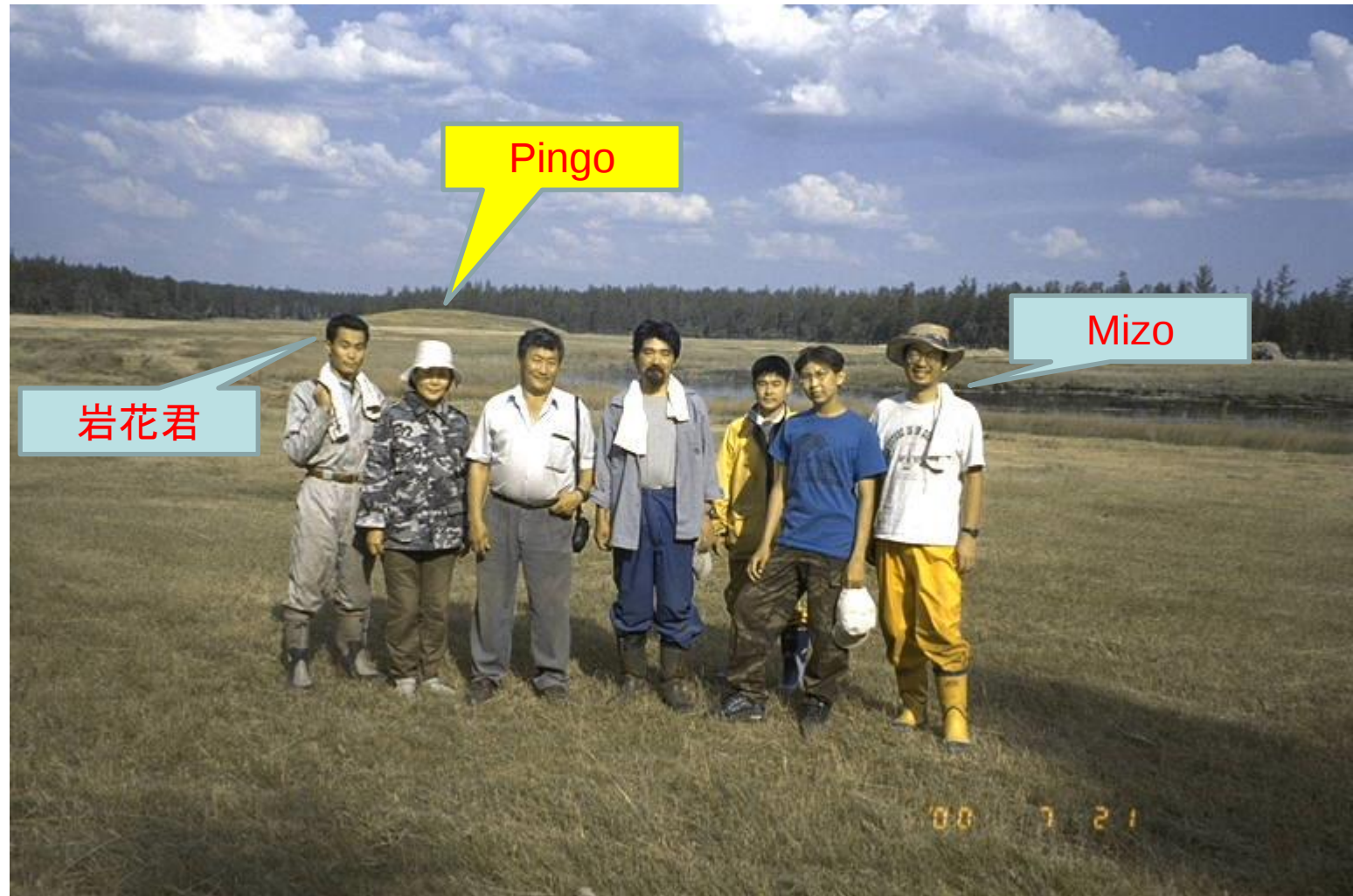


図1：2020年に発見された第17クレーター。発見されてすぐに調査隊が現地に入り、内部構造に関する最新知見が得られた（撮影：Evgeny Chuvilin）

日経ビジネス(2021.12.8) 岩花 剛

<https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00374/120100006/> より引用

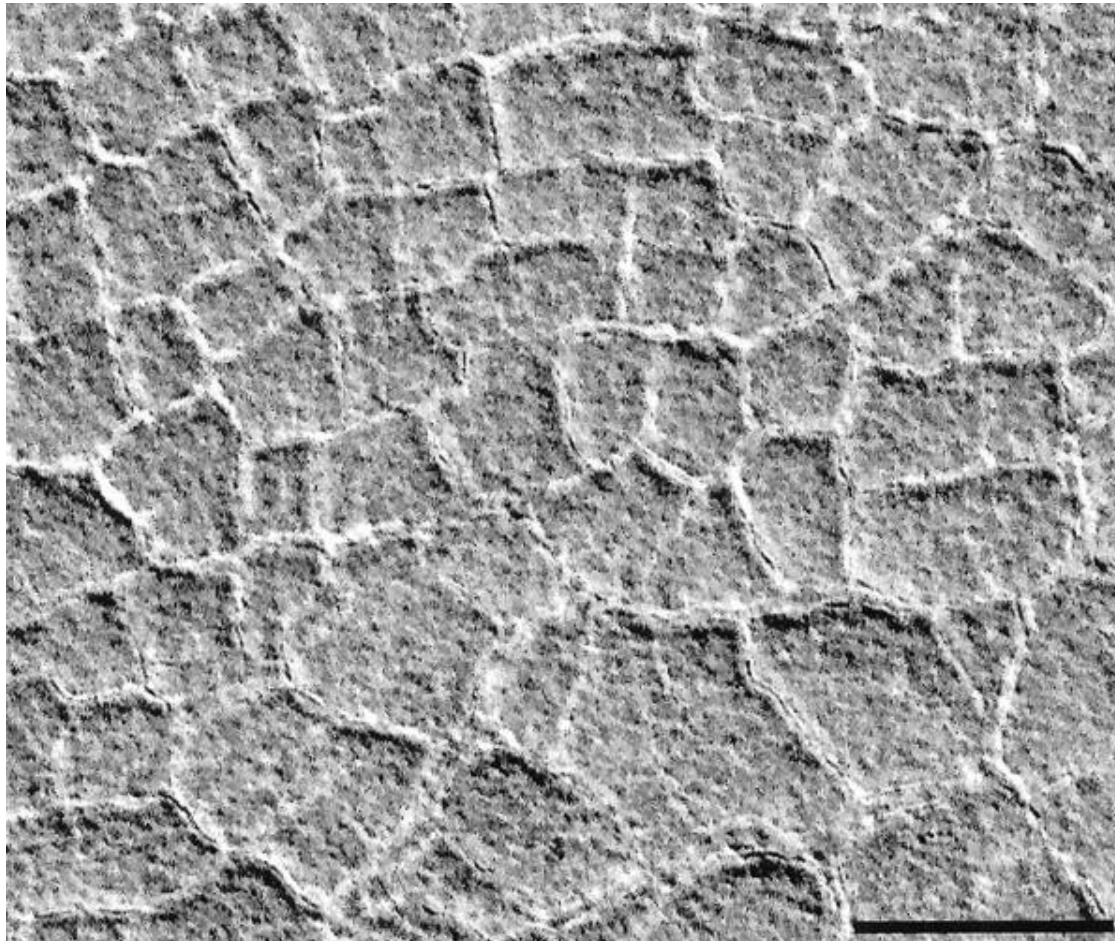
ピンゴ (Pingo) ≠ ビンゴ (Bingo)!



惑星の凍土

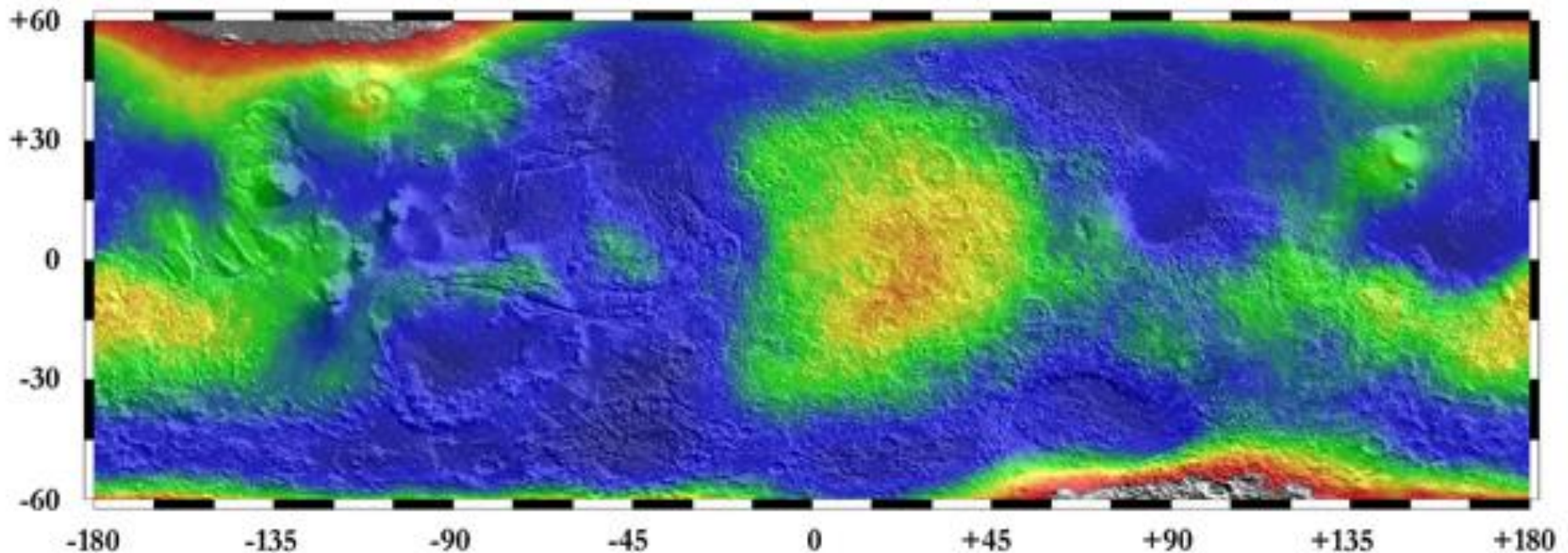
火星の高緯度地域に見られる Polygonal ground

Baker, V. R.: Water and the martian landscape, Nature,
Vol. 412, pp.228-236, 2001



http://www.lanl.gov/worldview/news/photos/equator_water_lanl.jpg

Water Equivalent
Hydrogen Abundance



Distribution of Water on Mars: Overlay of water equivalent hydrogen abundance and a shaded relief map derived from MOLA topography. Mass percent of water was determined from epithermal neutron counting data using the Neutron Spectrometer aboard Mars Odyssey between Feb. 2002 and Apr. 2003.

Reference: Tikhonov V. G., T. H. Prettyman, E. Mazarin, J. J. Plouffe, D. A. Rob, D. Y. Vasiliou, M. Y. Medvedev, A. E. Matigun, E. W. Higgins, E. Kuznetsov, W. N. Wozniak, R. C. Eklund, H. G. Farnsworth, D. J. Lawrence, and B. E. Tolan, The global distribution of near-surface hydrogen on Mars, *JGR Planets*, submitted July 2003.

These data were generated by the Planetary Science Team at Los Alamos: B. Burningham, D. Rob, D. Eklund, R. Eklund, W. Farnsworth, H. Farnsworth, G. Gerasimov, D. Lawrence, S. Mazarin, G. McGinnis, K. Mazarin, E. Prettyman, B. Tolan, D. Vasiliou, and B. Wozniak. - www.lanl.gov

The neutron spectrometer aboard Mars Odyssey is a member of the Gamma-ray Spectrometer suite of instruments, are designed and built by the Los Alamos National Laboratory and is operated by the University of Arizona in Tucson. The Mars Odyssey mission is managed by the Jet Propulsion Laboratory.

NASA

Phoenix Mars Mission - Gallery - Images - Microsoft Internet Explorer

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

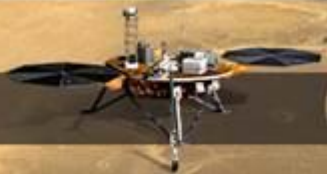


アドレス(D) <http://phoenix.lpl.arizona.edu/images.php?gID=5669&cID=76> 移動 リンク >>

Y! 検索 ログイン ブックマーク



PHOENIX MARS MISSION



MISSION EDUCATION BLOGS NEWS **GALLERY**

Keyword Search: GO



"Dodo-Goldilocks" Trench Dug by Phoenix

Photo credit: NASA/JPL-
Caltech/University of
Arizona/Texas A&M University
Date: 2008-06-16
Sol: Sol 22

This color image was acquired by NASA's Phoenix Mars Lander's Surface Stereo Imager on the 20th day of the mission, or Sol 19 (June 13, 2008), after the May 25, 2008, landing. This image shows one trench informally called "Dodo-Goldilocks" after two digs (dug on Sol 19, or June 12, 2008) by Phoenix's Robotic Arm. The trench is 22 centimeters (8.7 inches) wide and 35 centimeters (13.8 inches) long. At its deepest point, the trench is 7 to 8 centimeters (2.7 to 3 inches) deep.

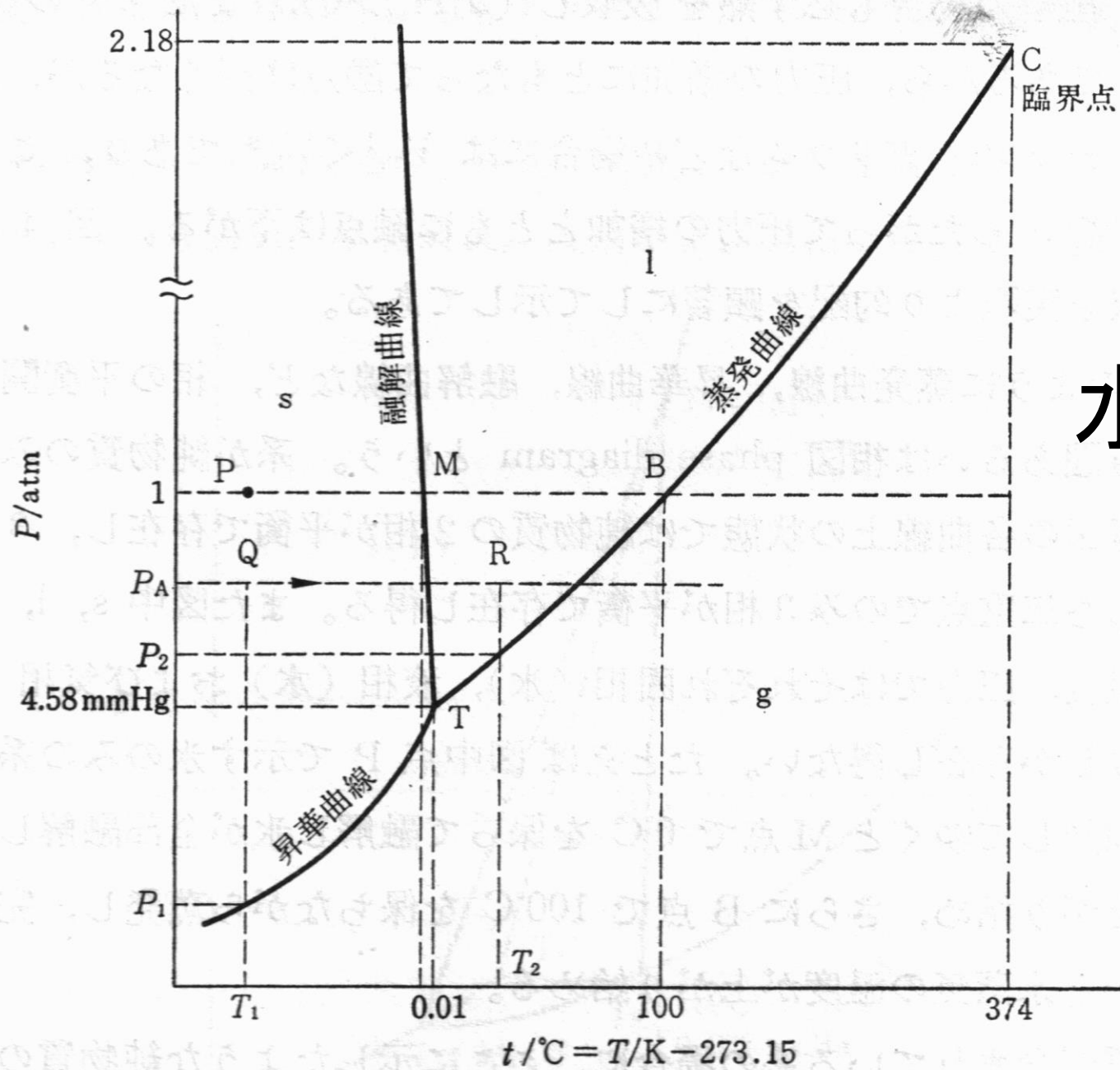
White material, possibly ice, is located only at the upper portion of the trench, indicating that it is not continuous throughout the excavated site. According to scientists, the trench might be exposing a ledge, or only a portion of a slab, of the white material.

The Phoenix Mission is led by the University of Arizona, Tucson, on behalf of NASA. Project management of the mission is by NASA's Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif.



Download Image
[Small](#) - 31kb
[Medium](#) - 113kb
[Large](#) - 455kb

インターネット



水の状態図

火星

-63°C

$6\text{ hPa}(4.5\text{ mmHg})$

図 4.4 水の状態図の略図

(おまけ) 土の凍結を利用した 福島における農地除染

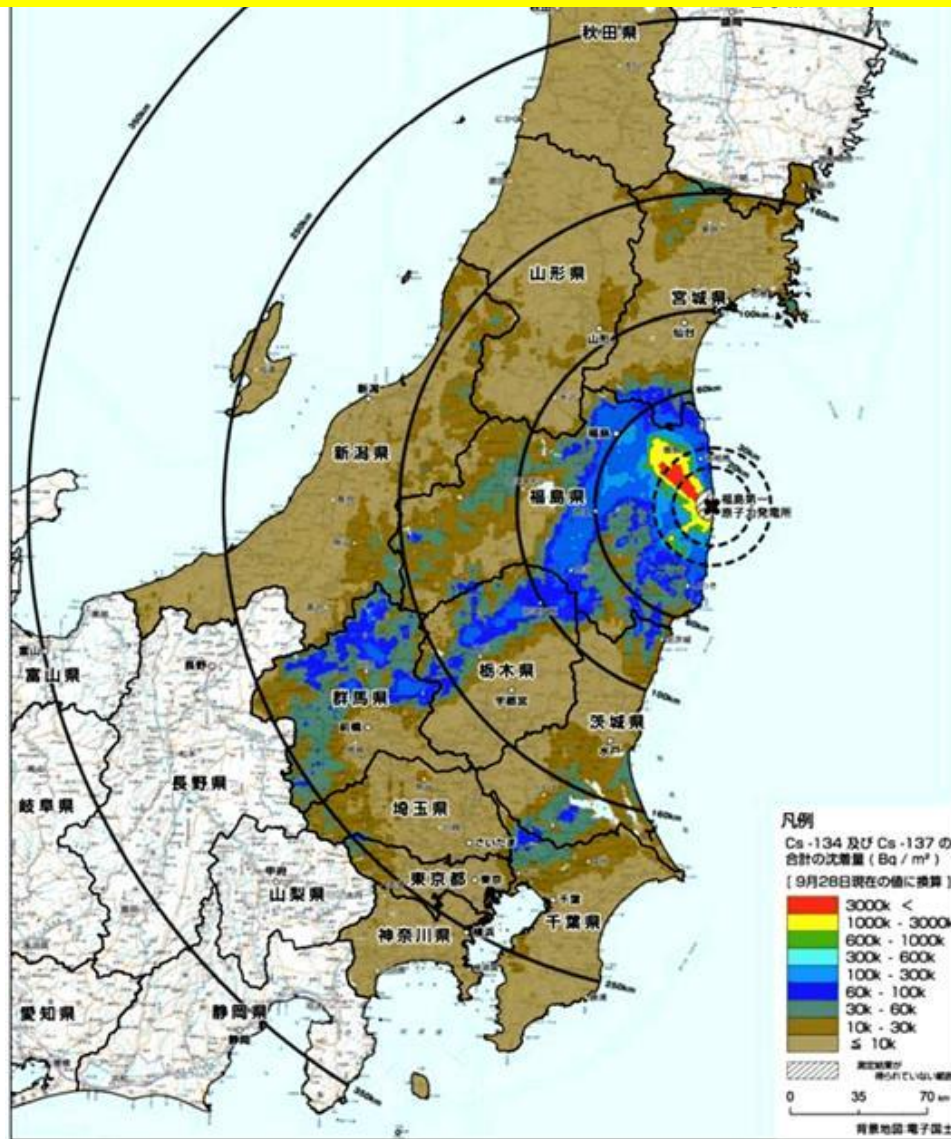
10年の振り返り

<http://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/mizo/edrp/fukushima/201017.html>

福島土壌除染技術

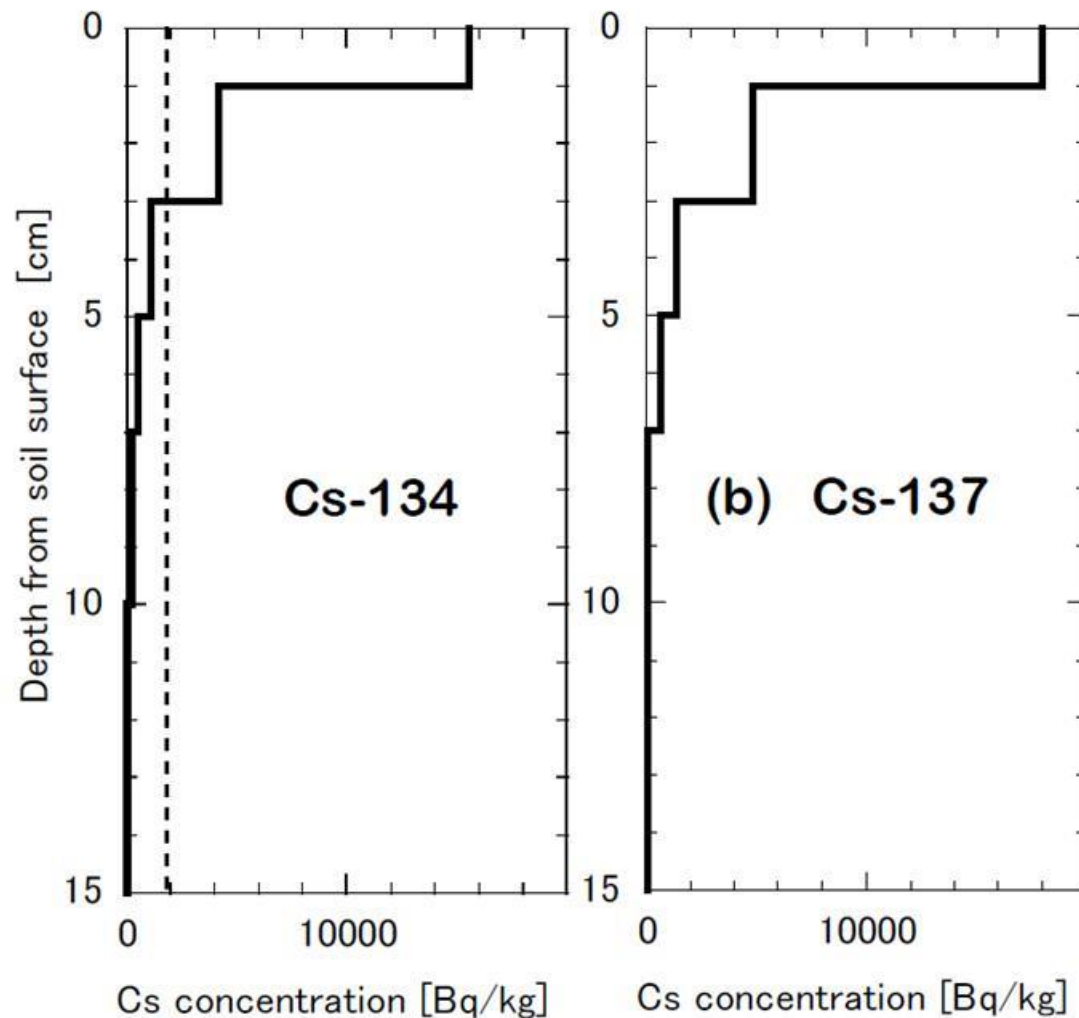
<http://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/mizo/edrp/fukushima/fsoil/>

放射性セシウムの分布



放射性セシウムの濃度(2011.5.24)

実線: 不耕起水田, 破線: 耕起水田



塩沢ら: 福島県の水田土壌における放射性セシウムの深度別濃度と移流速度,
RADIOISOTOPES誌, 8月号, 2011 より引用

農地の標準除染法

農林水産省 農地除染対策の技術書概要 【調査・設計編、施工編】

平成24年8月



表土削り取り



水による土壌攪拌・除去



反転耕

交換性陽イオン

1																		18	
1 H 1.0079	2																	2 He 4.0026	
3 Li 6.941	4 Be 9.0122												5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180	
11 Na 22.990	12 Mg 24.305	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948		
19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.409	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798		
37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29		
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57-71 *	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)		
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 #	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (277)	109 Mt (268)	110 Ds (281)	111 Rg (272)	112 Uub (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (291)		118 Uuo (294)		

* Lanthanide series

57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

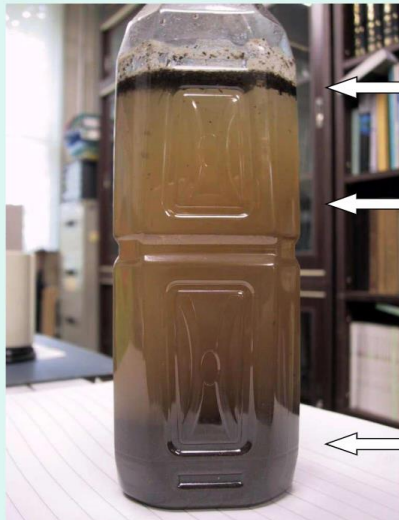
Actinide series

89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)
--------------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

p.23

2.2 土壌の主要な構成成分 ー粘土鉱物、土壌有機物、土壌生物ー

土壌の構成成分の簡単な分画



腐朽途中の植物遺体
(土壌有機物)

粘土鉱物 (2 μ m以下)

全体の黒っぽい色・・・腐植物質
(土壌有機物)

目に見えないが・・・土壌生物

シルト、砂 (2 μ m以上)

p. 24

(1) 粘土鉱物 代表的な粘土鉱物:層状ケイ酸塩粘土鉱物

カオリナイトの六角板状結晶

1 μ m

カオリナイトの積層構造

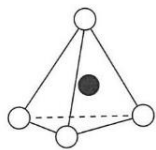
1 μ m



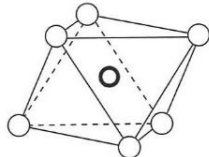
景德鎮の材料
白粘土の産地
高嶺⇒カオリン

p.26

層状ケイ酸塩粘土の基本構造

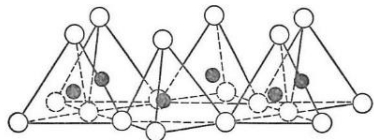


シリカ4面体
シリカ: Siの酸化物

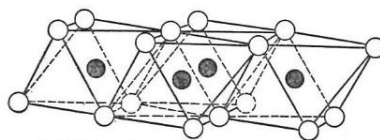


アルミナ8面体
アルミナ: Alの酸化物

●ケイ素 ○酸素 (Si)
○アルミニウム ○酸素 (O)
または 水酸基(OH)



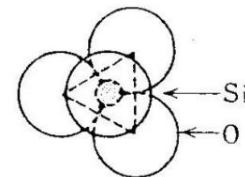
4面体シート



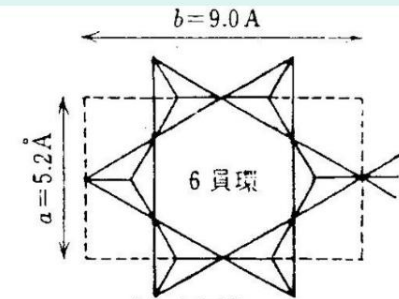
8面体シート

土壌通論(朝倉書店)、土壌学の基礎(農文協)より

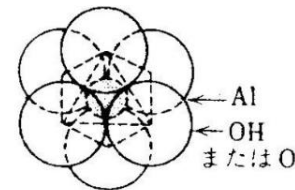
p.28



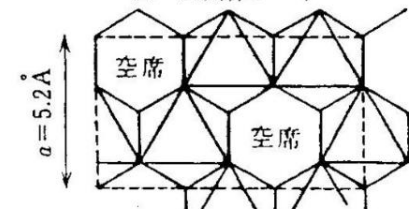
(a) ケイ素四面体



(b) 四面体シート



(c) アルミニウム八面体

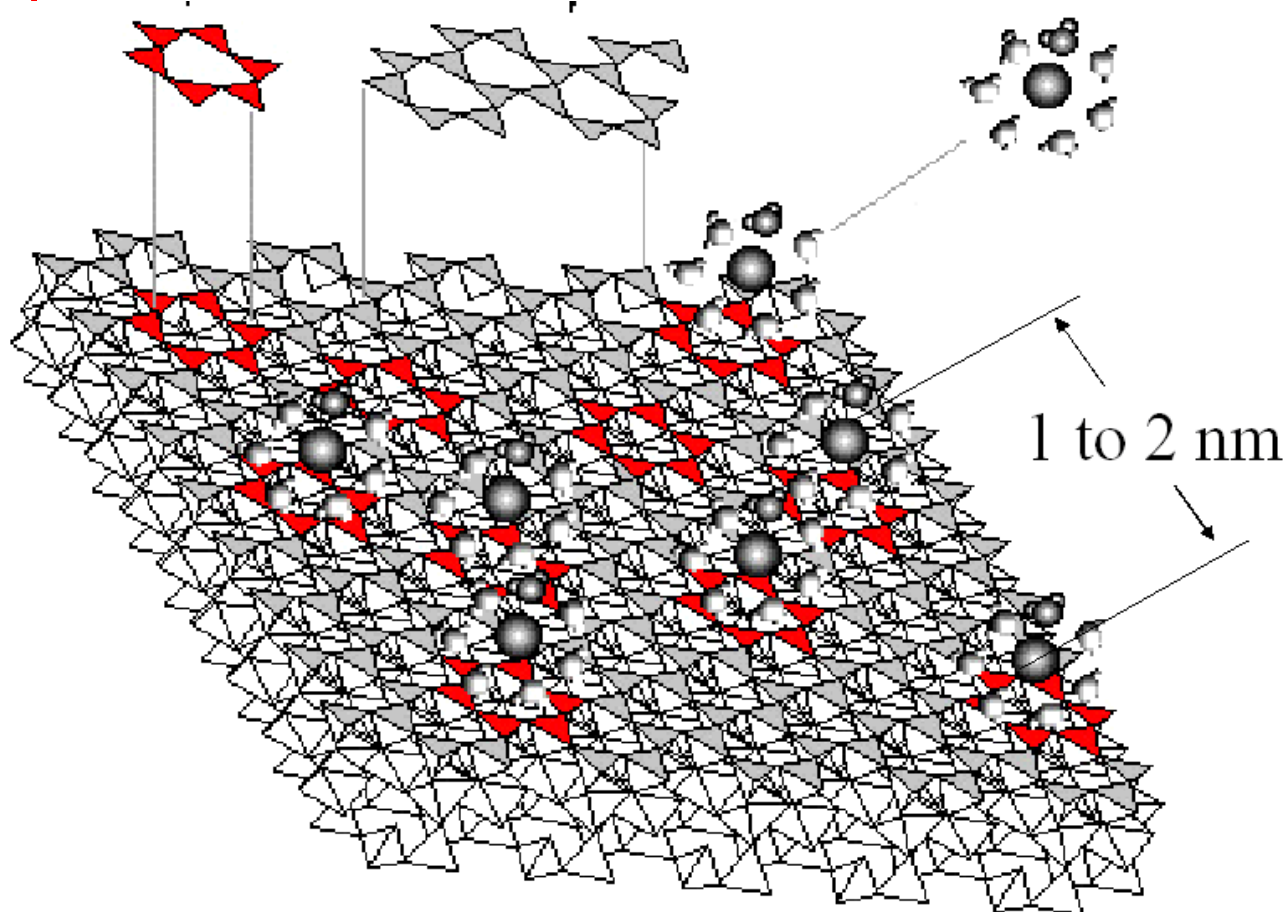


(d) 2八面体シート

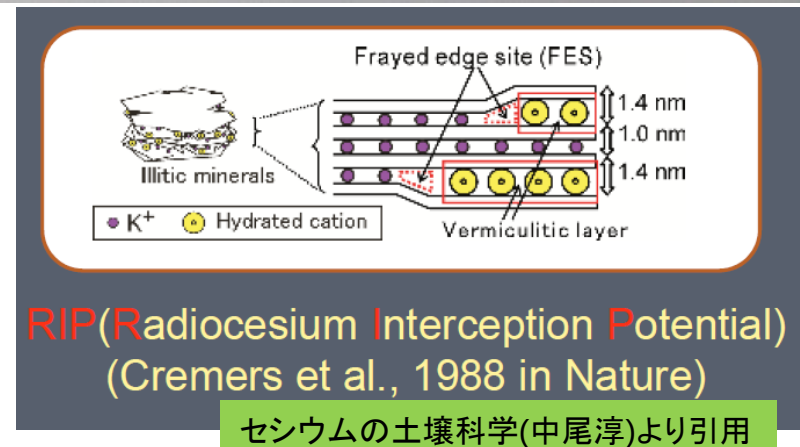
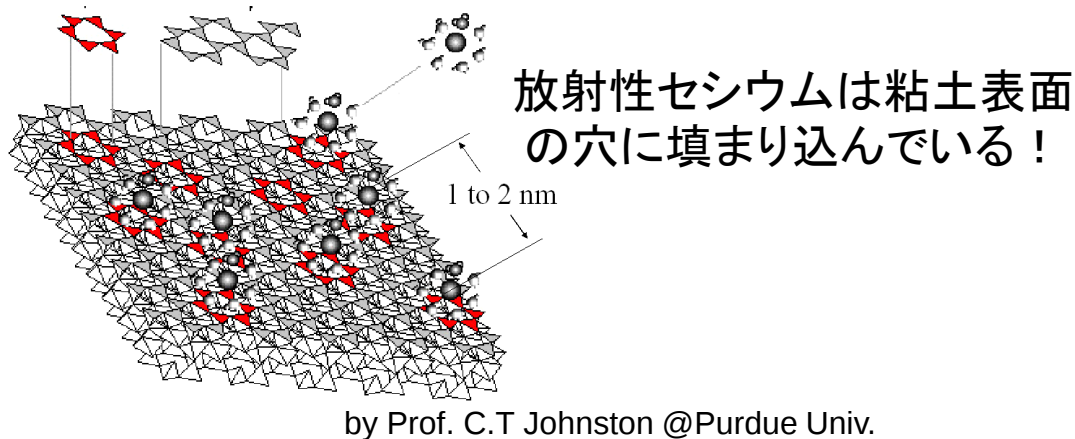
図 3.1 層状ケイ酸塩鉱物の基本構造 (三枝, 1989)

放射性セシウムは粘土表面の穴に 落ちている！

Hydrophilic Sites



放射性セシウムはカリウムと入替わって 農地土壌中の粘土粒子に固定される



飯舘村役場横の斜面の放射線量測定 (2011.6.25;溝口・登尾)



2.5 $\mu\text{Sv/h}$

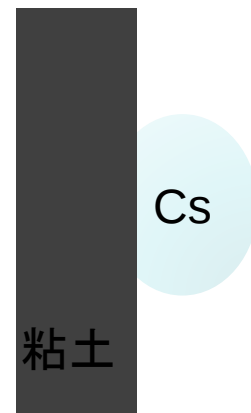
3.5 $\mu\text{Sv/h}$

7.0 $\mu\text{Sv/h}$

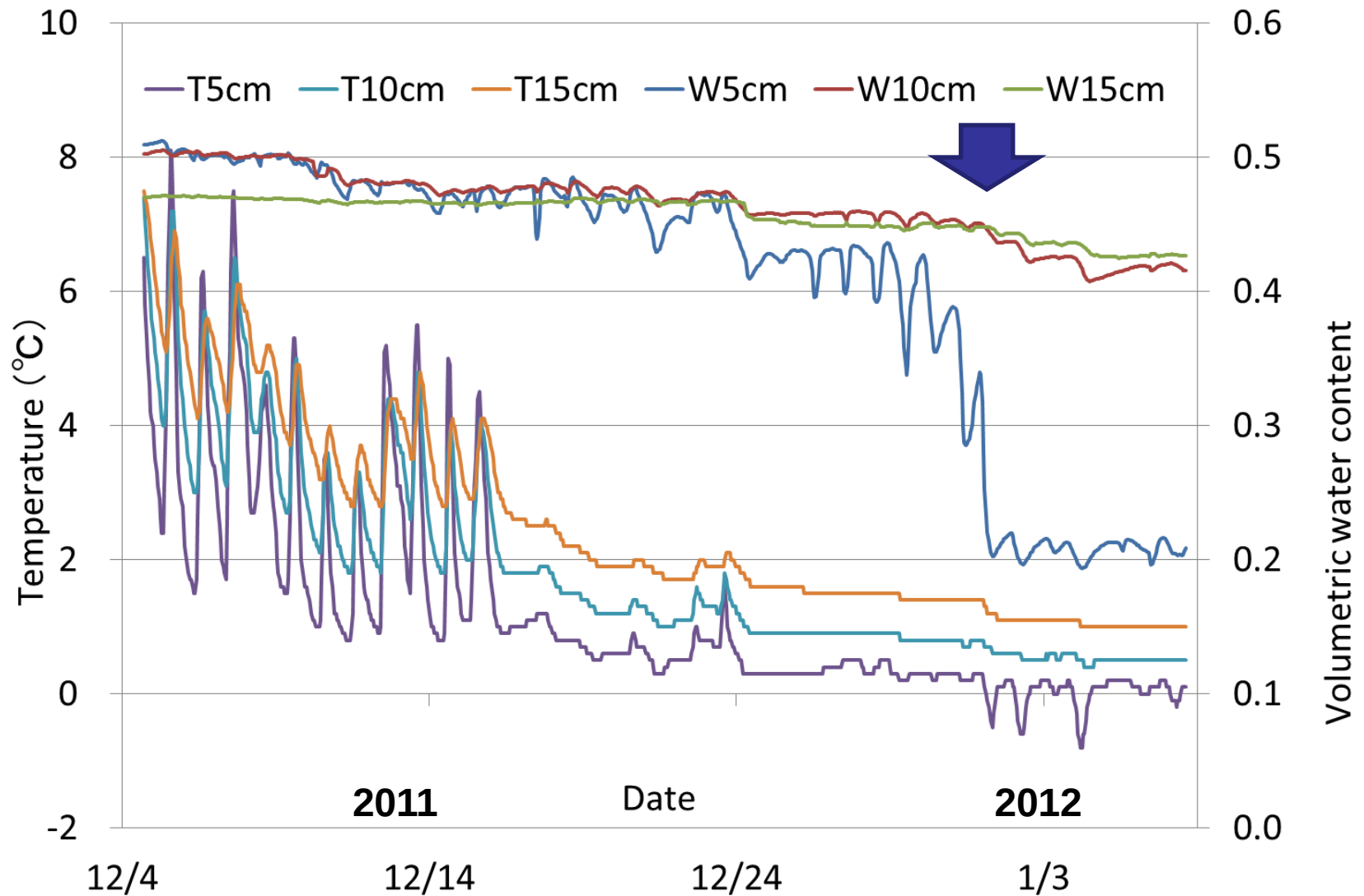
放射性セシウムを理解するポイント

有機物に弱く吸着しているセシウムは別として

- 粘土粒子と一体化して考える
- 粘土の移動に注意する
- 粘土の除去を考える



飯舘村の実験水田の地温と土壌水分



土壤凍結深計による凍結深度の測定



板状の塊のままで剥ぎ取られた厚さ 5cmの凍土



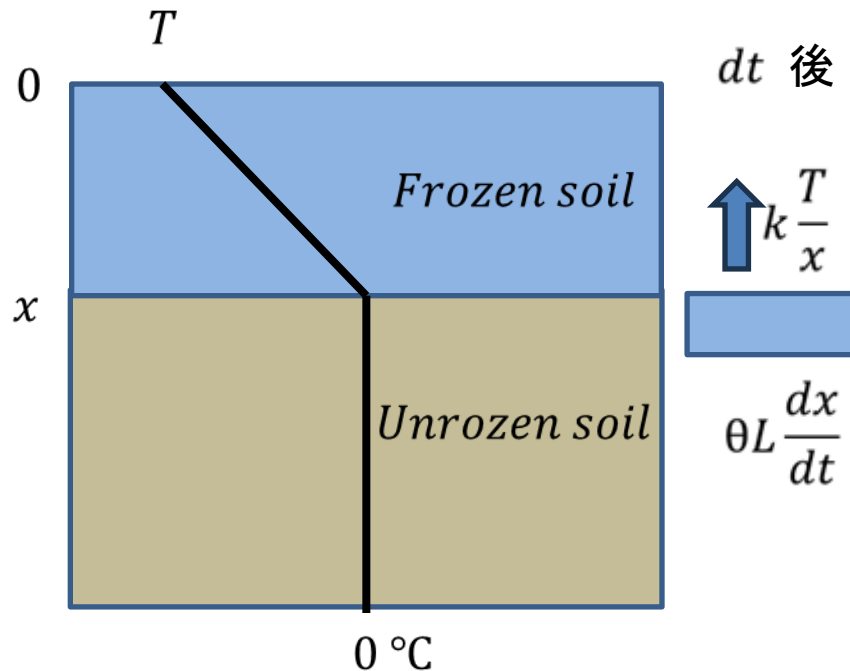
地表面からの放射線量(コリメータ付)が1.28 μ Sv/hから0.16 μ Sv/hに低下

飯舘村佐須の水田における 凍土剥ぎ取り実証実験(2012年1月8日)



Appendix: Equation for Estimating the Frozen Soil Depth Based on the Air Temperature

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-4-431-54328-2_13



$$k \frac{T}{x} = \theta L \frac{dx}{dt}$$

$$x = \sqrt{\frac{2k}{\theta L} \int T dt}$$

$$F = \int T dt$$

$$x = \sqrt{\frac{2k}{\theta L} F}$$

$$x = \alpha \sqrt{F}$$

x : Frozen depth t : time
 T : surface temperature
 k : Thermal conductivity of soil
 θ : Volumetric water content of soil
 L : Latent heat

いま科学技術が問われている

- 農学と情報科学で風評被害をなくせるか？

- 農学栄えて農業滅ぶ

－ 横井時敬(1860-1927)

土に立つ者は倒れず、
土に生きる者は飢えず、
土を護る者は滅びず

どんなに恐ろしい
武器を持っていても
たくさんのかわいそ
うなロボットをあや
つっていても
土からはなれては
生きていけないのよ！



「天空の城ラピュタ」
シータの名セリフ
(宮崎駿, 1986)

- いま農学部は何をすべきか？

- 稲のことは稲に聞け、農業のことは農民に聞け

まとめ

- 駒場農学校・横井時敬先生(1860-1927)の名言
 - 農学栄えて農業滅ぶ
 - 土に立つ者は倒れず、土に生きる者は飢えず、土を護る者は滅びず
 - 稲のことは稲に聞け、農業のことは農民に聞け
- いま東大農学部は何をすべきか？
 - 現場から課題を自ら発見し、解決する学習の強化
 - FPBL(Field and Project-Based Learning)



福島から始まる復興農学

Resilience Agronomy Starting from Fukushima

Yayoi Highlight

原発事故から10年が経ちました。東京大学大学院農学生命科学研究科では事故当初から各分野の研究者が福島の農業問題に関わってきました。こうした取り組みは復興知として集積され、現場の課題を解決するための古く新しい農学としてよみがえろうとしています。



農学国際学
国際復興農学研究
所 所長 溝口 勝教授

福島から始まる 復興農学

Resilience Agronomy starting from Fukushima



新しい農学に向けて奮闘する農学部の学生と教員による物の見方体験
2012年10月に、農大農学部の学生と教員が福島県飯沼村の復興農学実証農場を訪れ、復興農学の取り組みについて学びました。この取り組みは、復興農学の発展に貢献しています。

<https://youtu.be/9e-gpC0pL5A> 農大TV「復興農学」シリーズ第1巻「復興農学の発展」

日本の農業技術は江戸から明治にかけて、農家によって作られてきました。一方、日本の近代農学は1884年の日本獣医学会と1887年の農学会から始まりました。しかし、復興農学は、復興農学の発展に貢献しています。

2011年3月、東日本大震災による津波によって東北地方沿岸部が壊滅的な被害を受け、そして原発事故によって福島県浜通り地域は放射能で汚染されました。1986年のチェルノブイリ事故では石棺処理で幕引きされたが、福島では地域をよみがえらせる人類の挑戦が続いています。研究者が福島に足を運

び、専門知を駆使した試みは「復興知」として集積されつつあります。そして復興知はこうした復興知を世界に向けて発信する試みも含め、創造的復興の中核となる国際教育研究拠点を構築しようとしています。

農村は食料生産と生活環境の場です。農学はそこに住む人々と創る総合的な学問です。科学論文では過去の文献を検索して自分の研究分野の新規性を主張しますが、福島には原発事故に由来する新しい課題が示るに転がっています。「農業のことは農民に聞け」と横井先生の言葉です。避難指示が解除された地域には避難に負けない現代の農家が戻っています。教員と学生が現場に行き、農家と対話すれば課題が見え、江戸時代から続く伝統的な堆肥づくりが最先端



1920年に編纂された日本農学会の歴史
1920年で、設立された農学会の100周年を迎える（当時）日本農学会は、今では研究分野が幅広い、約150以上の学会で構成され、その100周年記念大会が開催されました。
日本農学会編纂(2000)、日本農学会文庫、新装版

のネットワークを組み合わせて除染で失われた地力を回復するなどの研究テーマが生まれます。農学は総合的な科学技術の集大成です。細分化されていた農学が復興という目標を掲げて福島から不死鳥の如くよみがえろうとしています。

資料提供：溝口勝(2018)、農学と社会、創成書館、p.3

教員 Q&A

復興知

2011年の原発事故以降、全国の大学で福島の復興に、人々の復興に関心する声があがり、大学間の連携が強化され、交流が活発化しています。復興農学の発展に貢献しています。

https://www.mext.go.jp/bu_jen/hakusho/html/hpa021901/1425047_008.pdf

国際教育研究拠点

福島の復興の発展、不可逆的復興および人材育成の、その経験や成果を世界に発信し、共有する。そのための国際教育研究拠点として、復興農学の発展に貢献しています。

<https://www.reconstruction.go.jp/topics/main-catt/>

復興農学会

復興農学の発展、不可逆的復興および人材育成の、その経験や成果を世界に発信し、共有する。そのための国際教育研究拠点として、復興農学の発展に貢献しています。

<http://fukui-nouagaku.com/>

<http://www.iai.g.a.u-tokyo.ac.jp/mizo/edrp/fukushima/201017.html>



文庫刊行(2018年7月)



文庫刊行(2018年7月)



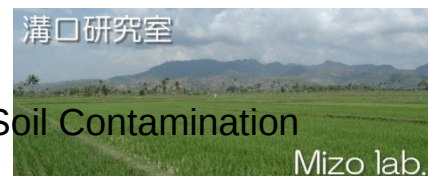
文庫刊行(2018年7月)



<https://www.a.u-Tokyo.ac.jp/pr-yayoi/73yh.pdf>, 弥生73(2021)

Resilience Agronomy Starting from Fukushima

SSSA Symposium--CrossDiv--Dealing with the Fallout in Fukushima: 10 Years of Soil Contamination (2021.11.9)



復興農学会

2020年6月発足

復興農学会

イベント

会誌

成果報告

シーズ

自由投稿

事務局便り

会員登録

復興農学会のホームページ



食と農

被災した地域の現状を発信し、力強く生きる人々の今を伝える。
農業再生・担い手の育成・大学・高専の共同開発を通して、
未来をみつめた農業・地域の復興を目指します。

復興農学会は

国内・外の**自然災害・原子力災害等**
からの復旧・復興から得た農林水産
業分野における知見・技術を、広く国
内・外に発信します。

会長：溝口勝
(東京大学)

目的

市民、教育・研究機関、企業、団体、自治体等の

▼相互の**学術・技術・教育等の交流**を促進

▼復旧・復興事業で培った**学術・技術・教育等の成果を**
「復興農学」として体系化し、深化と継続をはかる。

具体的事業

▼教育・研究活動の成果の共有

▼共同事業の企画・推進

▼研究会、シンポジウム等の開催

▼教育・研究資料の収集・配布

主幹大学等

東京大学、東京農工大学、東北大学、福島大学(事務局)、郡山女子大学
東京農業大学、福島工業高等専門学校

農学分野
生産環境農学
農芸化学
森林園科学
水圏応用科学
社会経済農学
農業工学
動物生命科学
境界農学

支部
地域性
北海道
東北
関東
東海
近畿
中国
四国
九州
沖縄
海外



想定会員

正会員
学生会員
賛助会員
実務会員

・公務員
・団体職員
・会社員等
実践会員
・農林水産業者
シニア会員
・65歳以上
ヤング会員
・高校生以下
その他会員
・自由業
・専業主婦(夫)
・アルバイト等

年2回発行(1月と7月)
第4号の原稿募集中

復興農学会誌

Journal of Reconstruction Agriculture and Sciences
第1巻 第1号 2021年 1月



子どもから大人まで、研究者から農業実務者まで、どなたでも参加できます。

- ◆被災現場の声に耳を傾けます。
- ◆農学分野を「専門性」の縦系と「地域性」の横系でつなぎます。
- ◆未来を見据えた地域と農業の復興を果たします。
- ◆日本と世界の農業・食料生産の持続的発展をめざします。

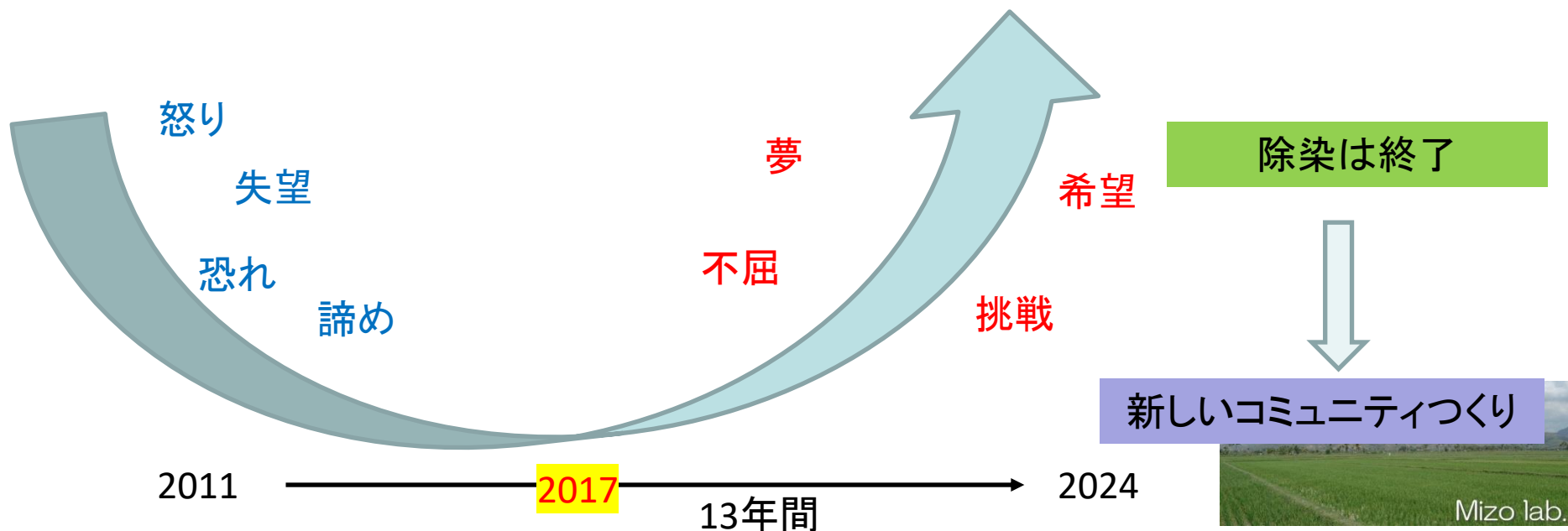
市民・自治体参加型の学会誌 2021年1月に創刊

復興農学

RESILIENCE AGRICULTURE

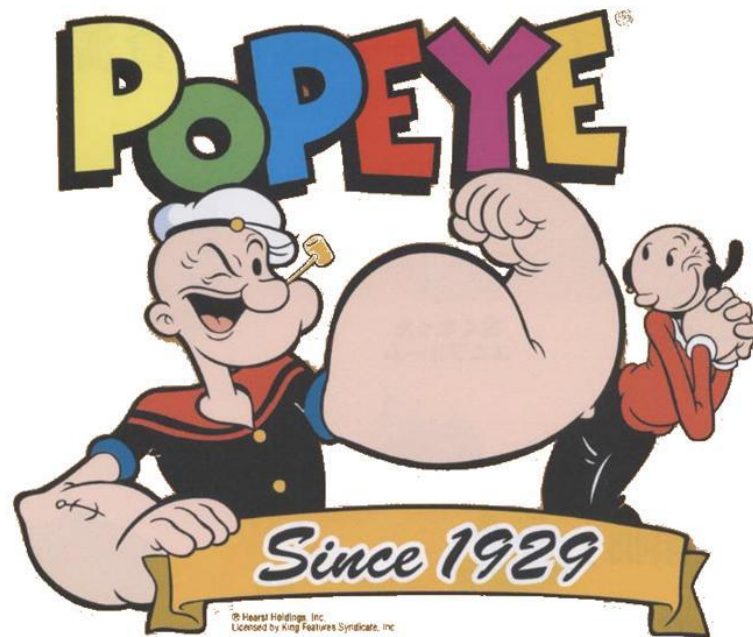
- レジリエンス(回復力): [復興農学会 \(fukkou-nougaku.com\)](http://fukkou-nougaku.com) 設立 2020.6
 - 何か困難なことや悪いことが起こった後でも、再び幸福になったり、成功したりする能力 (英英辞典)
- Resilience: the ability to be **happy, successful, etc.** again after something difficult or bad has happened (Cambridge Dictionary)

復興: Reconstruction → Resilience(回復力)



タフな東大生諸君！ こんな学生なってね！

1に体力
2に食欲
3・4はなくて
5にジョーク！

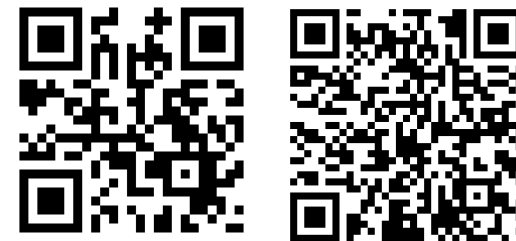


ちょっとだけ研究室の宣伝(これは選択)
土壌物理学、情報通信技術

• とにかく心身ともに健康に！



さらに知りたい人のために



- [Mizo lab](#)

- 13年の活動を踏まえ、今見えてきたこと

- [YouTube](#), [講演資料](#)

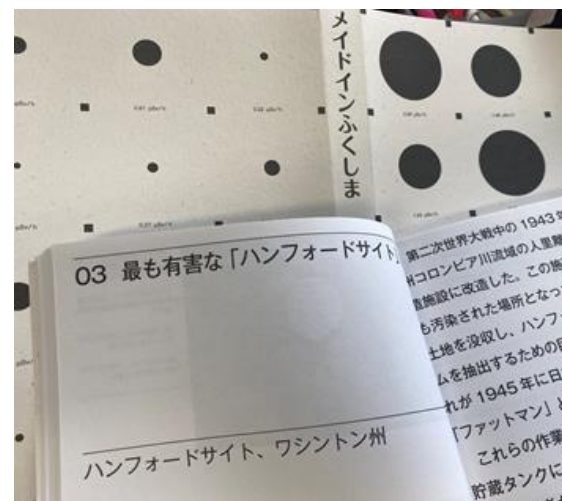
- ドロえもん博士の震災復興

- NHKラジオ深夜便 [\(音声\)](#)

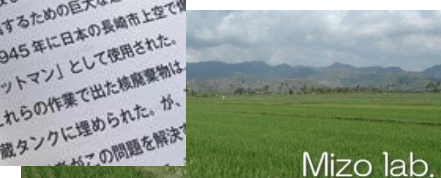


検索＝みぞらぼ

[2021年3月11日発行](#)→



↑本をクリック



Mizo lab.