

土壌圏の科学(2021.12.15)

@Zoom

土壌の凍結

東京大学

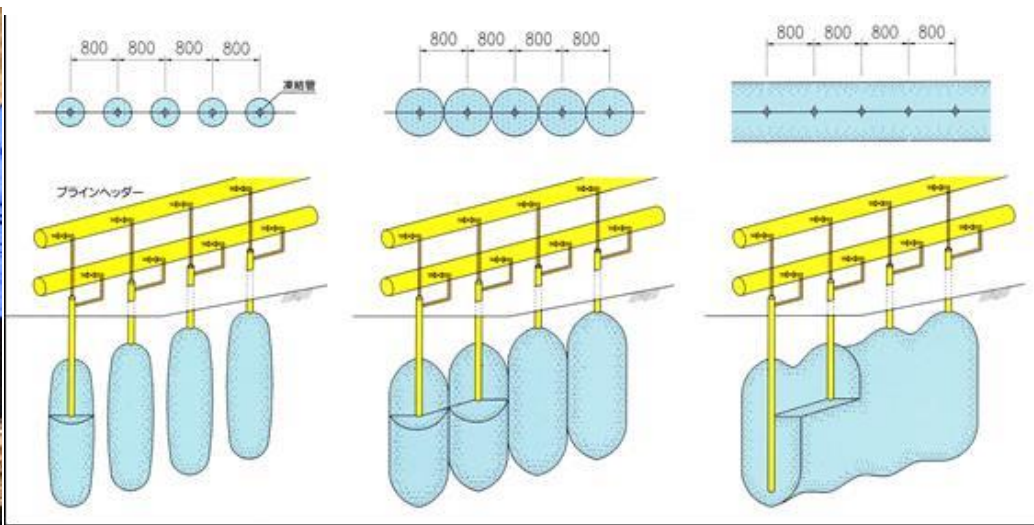
大学院農学生命科学研究科

農学国際学専攻・国際情報農学研究室

教授 溝口 勝



いま再び
凍土が熱い！



久々に「凍土遮水壁」の話題

東日本大震災

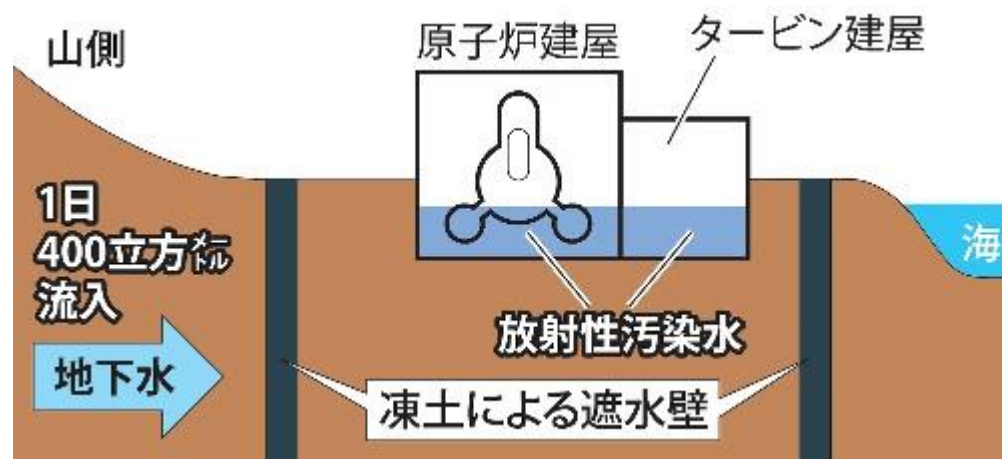
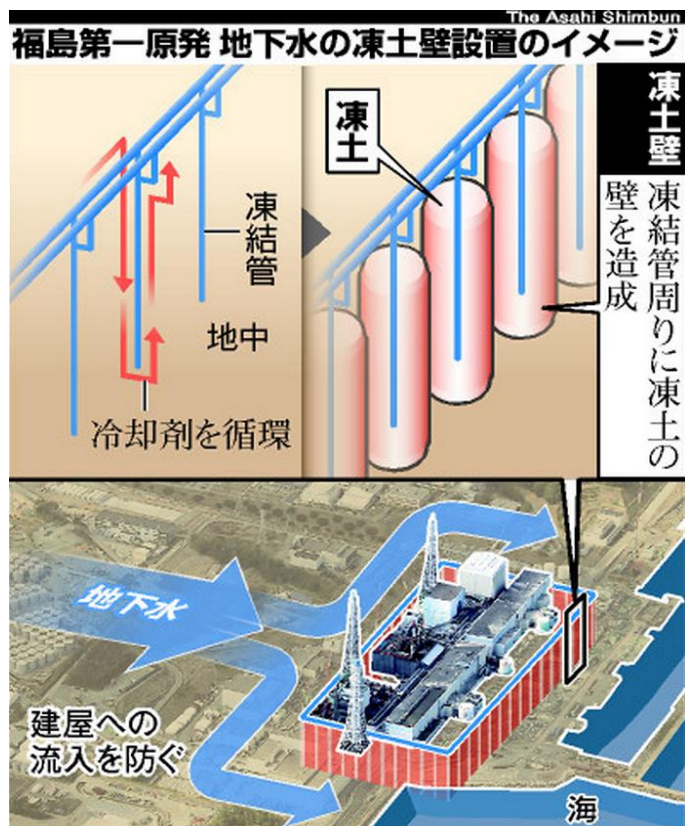
福島第1原発事故 「凍土遮水壁」 温度0度以下に

社会 | 事件・事故・裁判 | 企業・産業 | 朝刊総合面

毎日新聞 | 2021/12/14 | 東京朝刊 |  有料記事 | 259文字

東京電力は13日、福島第1原発の建屋周辺の地盤を凍らせて、汚染水の原因となる地下水の流入を抑える「凍土遮水壁」の温度が上昇した問題で、地中に8本の鋼鉄製の管を並べて打ち込んだ後は温度が0度以下になったと発表した。温度が上昇した場所のそばで地下水流入が確認されていた。担当者は「鋼管で地下水の流れが阻害されて温度が下がった可能性もあるとみて、引き続き遮水壁の止水効果や温度変化を確認したい」と説明した。凍土壁は1～4号機建屋周囲の全長約1.5キロに、約1600本の凍結管を埋設し、周囲の土壌を凍らせて氷の壁にする設備。

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)



たつ
た
かす
と
竜田一人

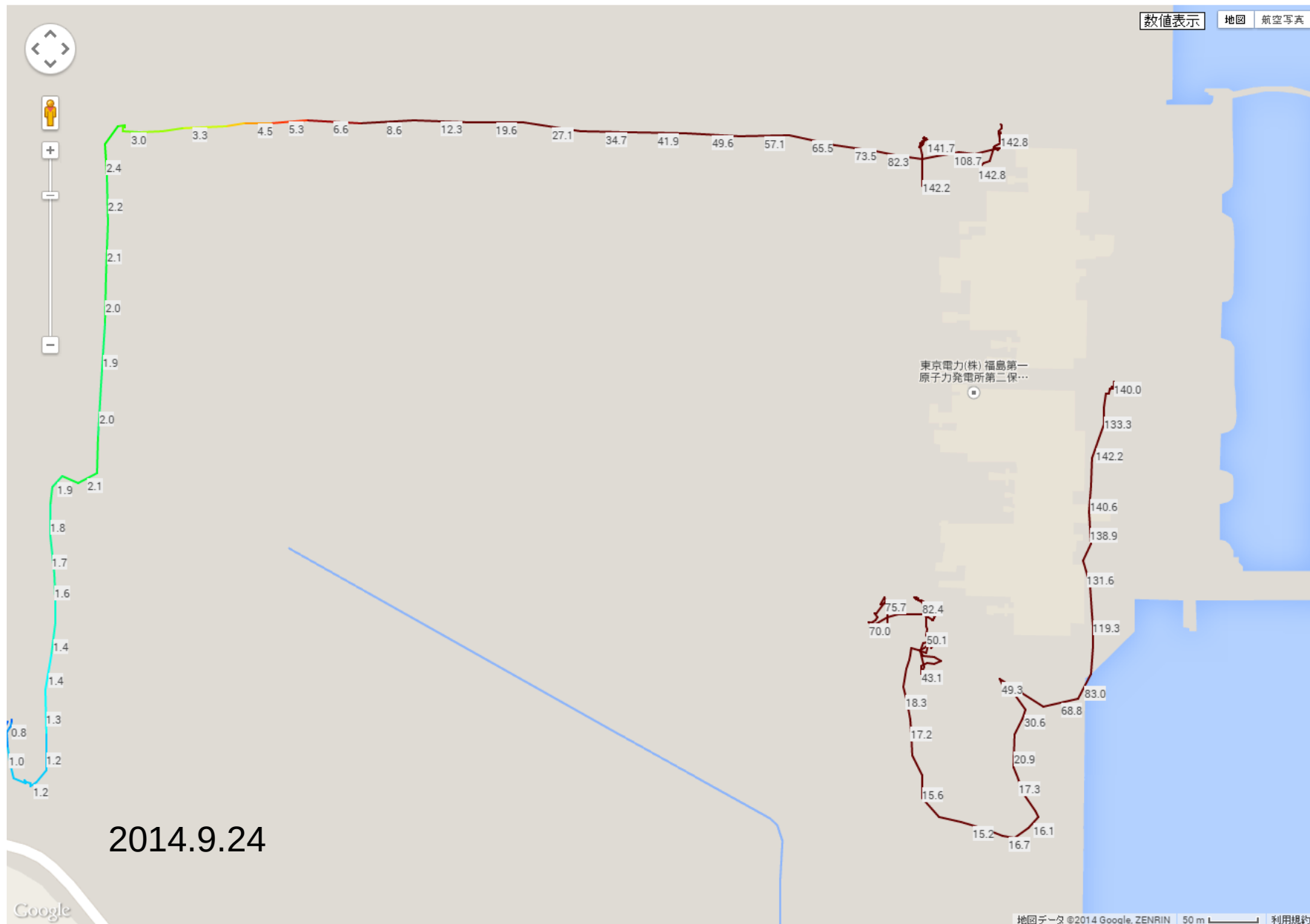
いいえふち

福島第一
原子力発電所
労働記(1)

これが
彼がその目で見てきた
「福島の実況」。

これは
「フクシマの実況」
を暴く漫画
ではない。

福島第一原発
作業員が描く
原発ルポ漫画。



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

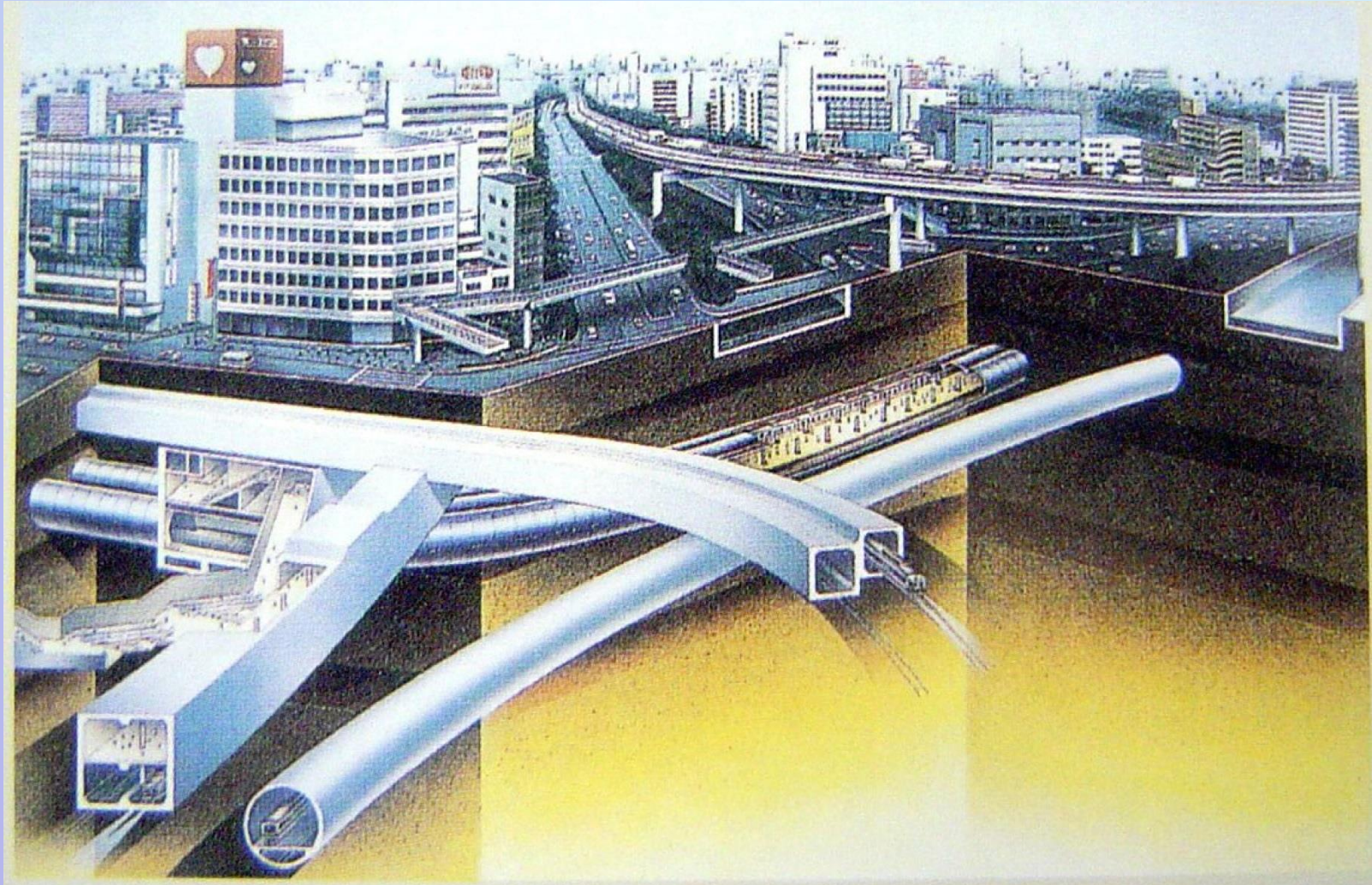
- 時間がたてば熱エネルギーが温度に高い所から低い所へ流れ、凍土壁内の温度は均一になる

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

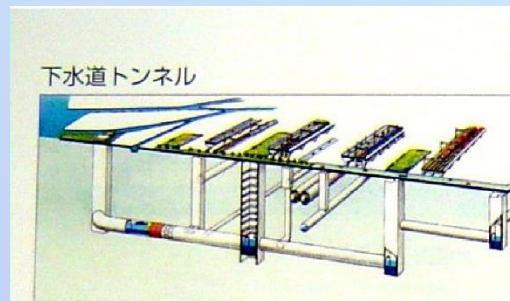
具体例ートンネル工事

- ・ 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。



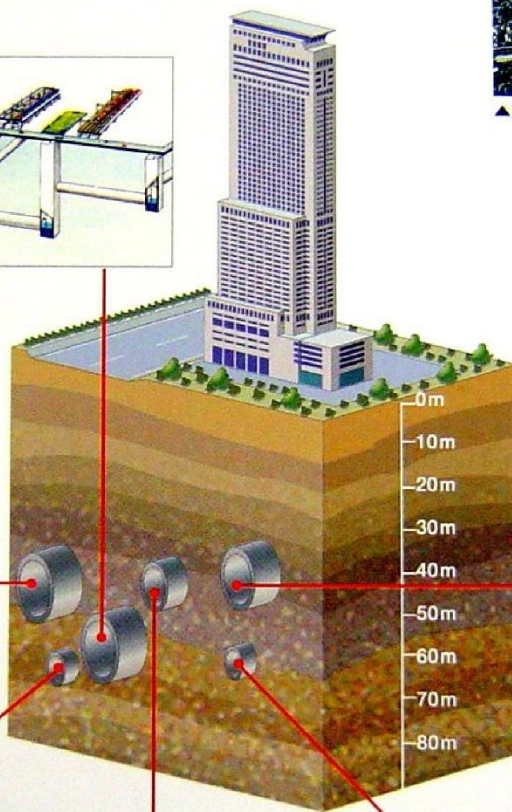
▲大阪市・十八条～西島下水道幹線

地下河川トンネル

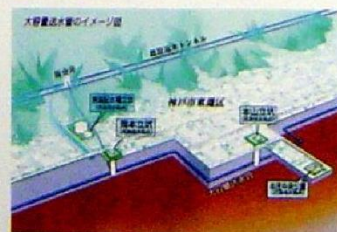


▲神田川・環状七号線地下調節池

地中送電線トンネル



送水管トンネル

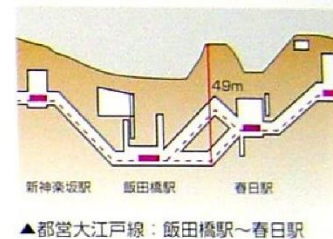


地下ガストンネル



▲東京都内地上風景

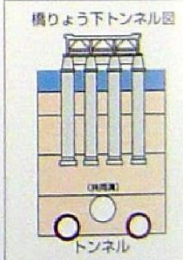
鉄道トンネル



▲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



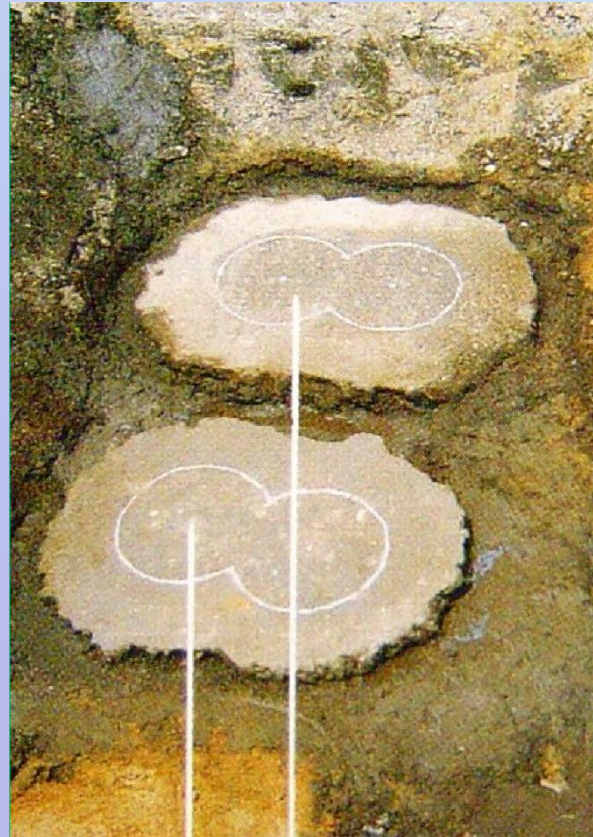
トンネル



- ・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

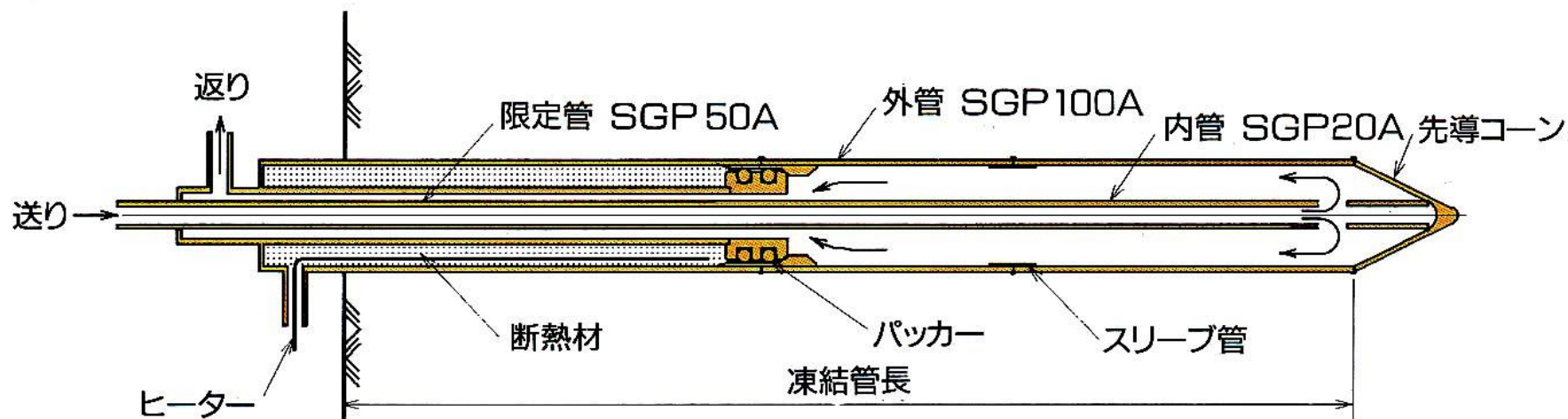






・凍結管（例：限定凍結管）

● 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

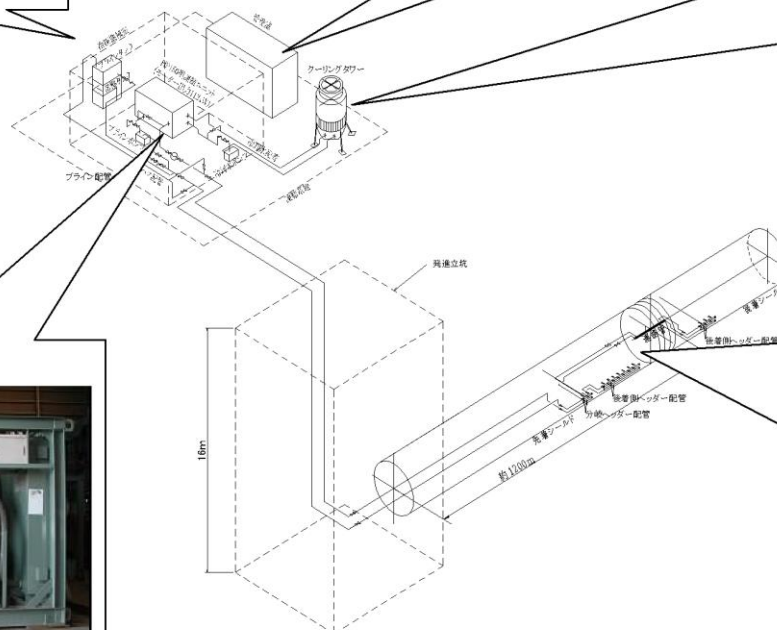
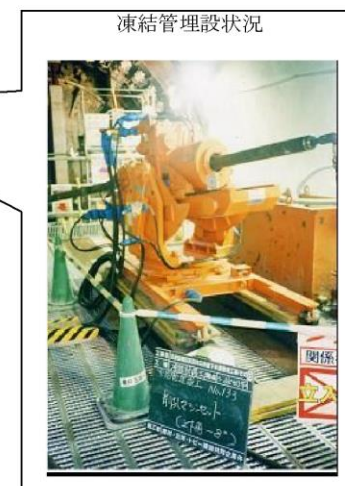
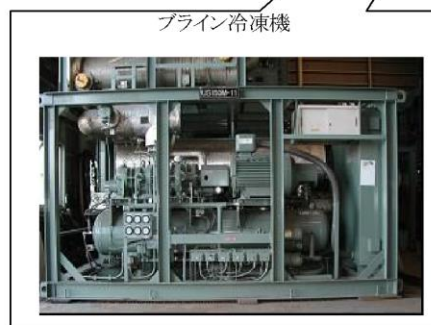


・ Vertical boring

冷凍機



凍結基地及びブライン配管要領図



・ 凍土壁の形成

・ 約1週間後

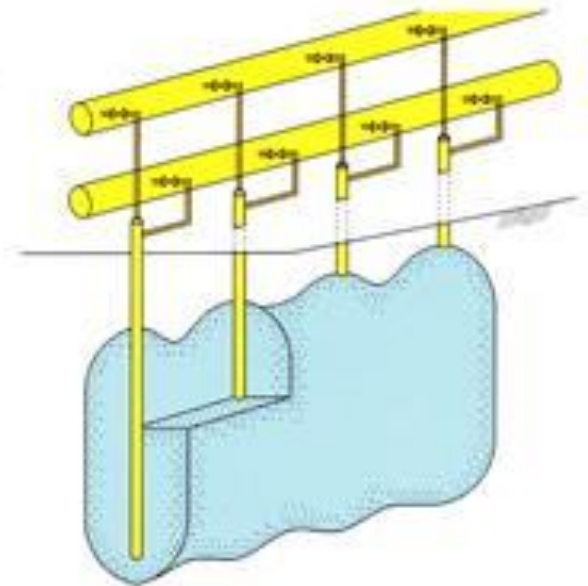
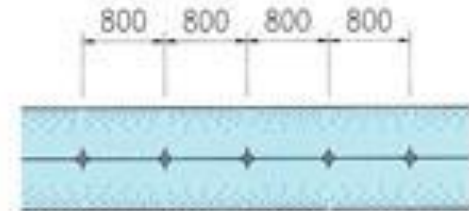
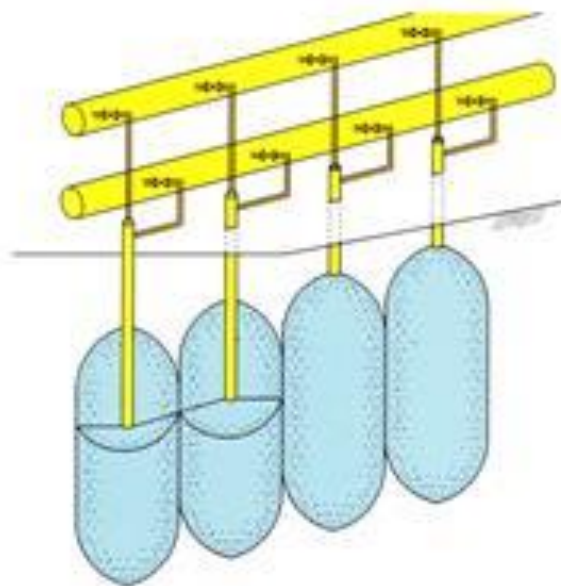
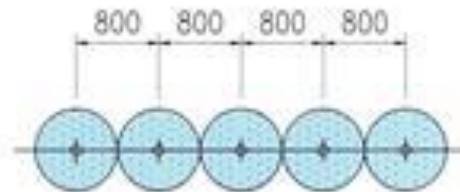
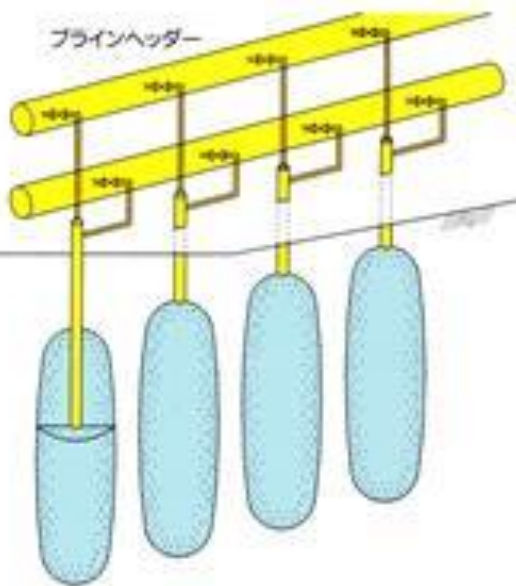
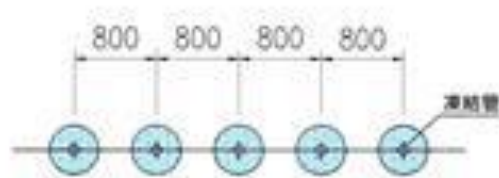
凍土柱成長中

・ 約2週間後

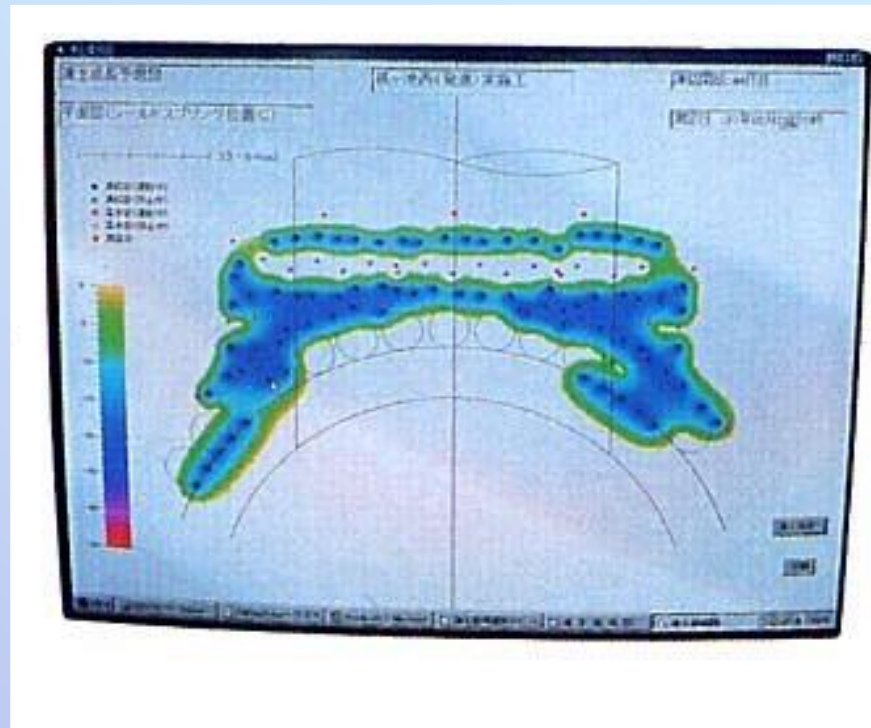
凍土柱が連続し、
凍土壁になり始める

・ 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
農学系研究科 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
Mitsuhiko Muroguchi

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。越冬の農家の夜更だだったわたしは、いかに自然の営みで農家に連なっているか、入学していろいろと農家を回ったついで、正直「農家はこんなものなのか」という疑問が湧いてきました。どれもみな疑問ばかりで、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、「どうせ理学部に転校するから、いっそのこと一番得意な農学をやってやれ」と聞かれました。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「最先端」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。これは地温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、テーマが農学に上りはじめたのは真冬でした。そして、ちょうど

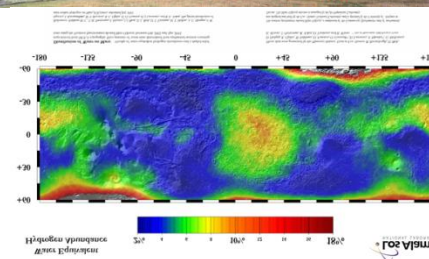
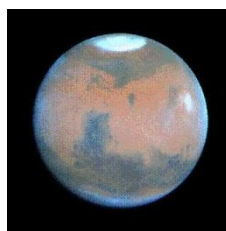
クリスマスイブの朝、ある事件が起こったのです。

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温が突然0度になりました。「温度計が壊れた」「畑裏に「壁中」の二文字が書かれていた。懐中電灯を持って畑裏に潜り、地温計を確認すると、なにがが光っています。驚愕でした。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「最先端」に思えた土壌物理学、いまではとても伝統的な学問だと思われています。たぶん農学部の学生による農地の調査や民間企業で作られた農地改良の試験、その他々々を指してくれるのが土壌物理学です。その知への道を聞いてくれたのは、あの朝のあの驚愕でした。

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



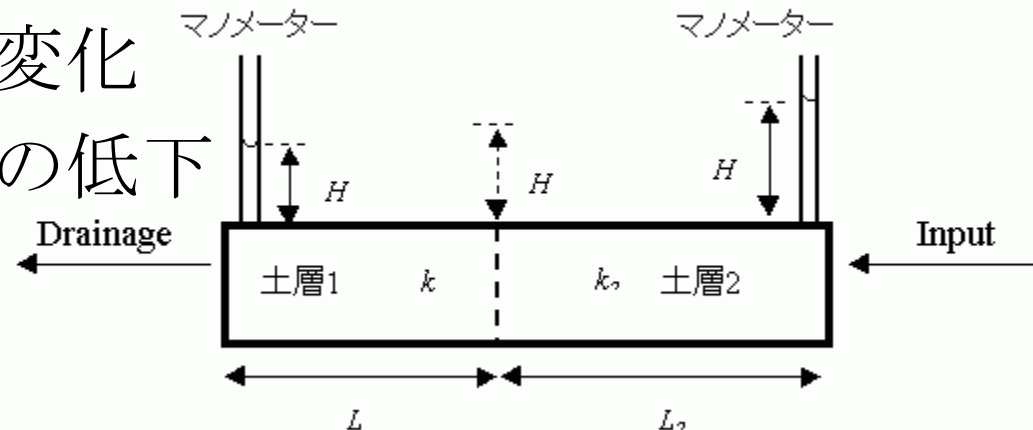
- 土壌中の熱と水分の移動が重要

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

- 毛管現象

$$h = 2\sigma/\rho g r \doteq 0.15/r \text{ (cm)}$$

σ : 表面張力 ρ : 水の密度

g : 重力加速度 r : ガラス管の半径

- サクション(水ポテンシャル)

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

$$pF = \log |h|$$

R : ガス定数 T : 絶対温度 M : 水の分子量

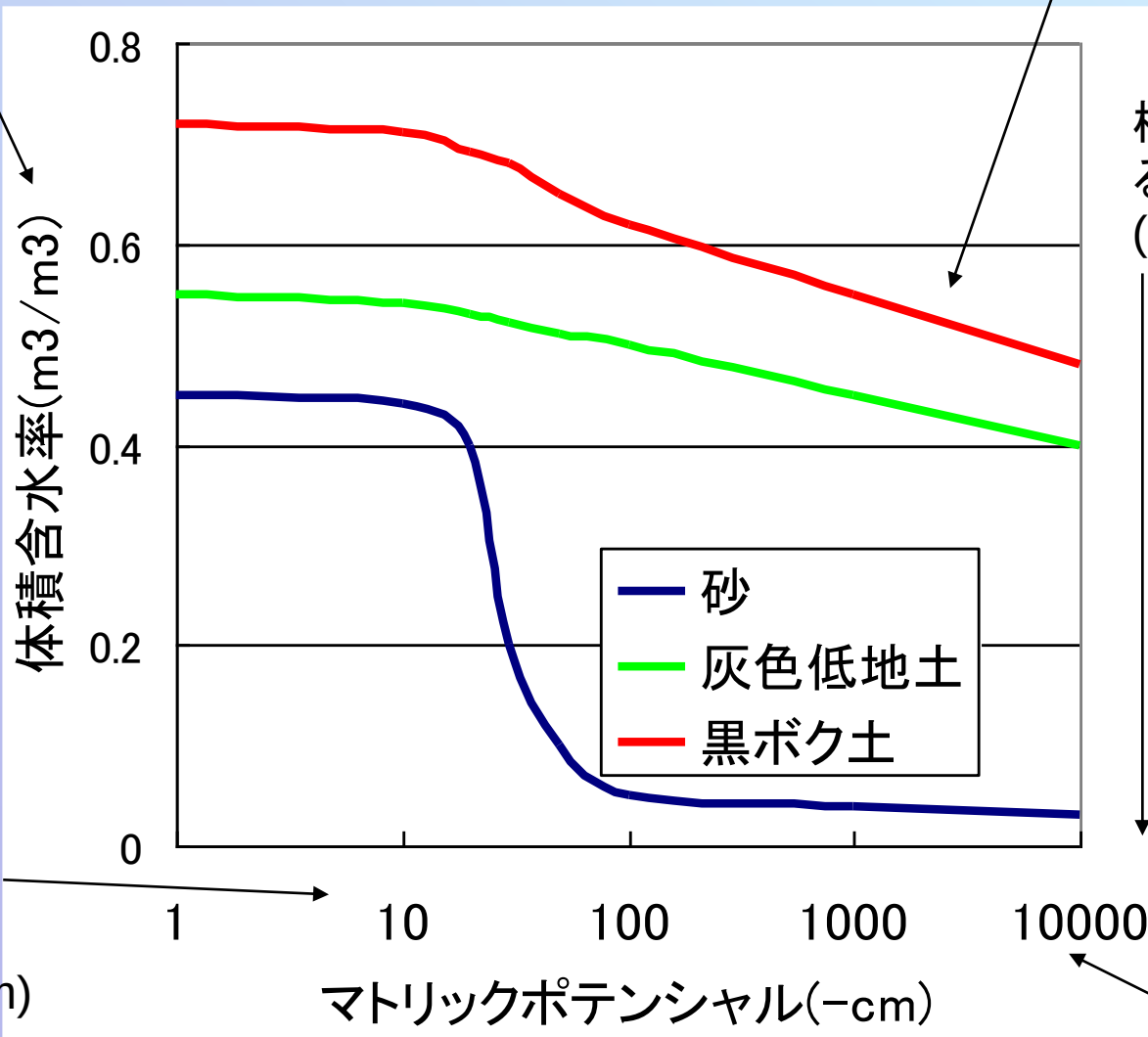
P_s/P_0 : 相対湿度

– 相対湿度80%, 20°Cでは、 $pF=5.5$

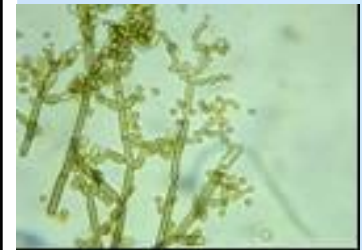
土の保水性 (水分特性曲線)

土の塊に含まれる水の体積

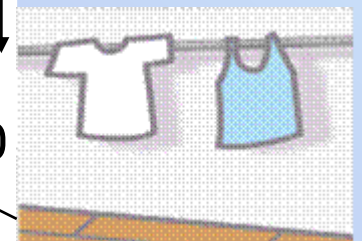
植物の成長に影響



植物が枯れる水分量 (15000)



カビも発生しやすい
湿度99.3%

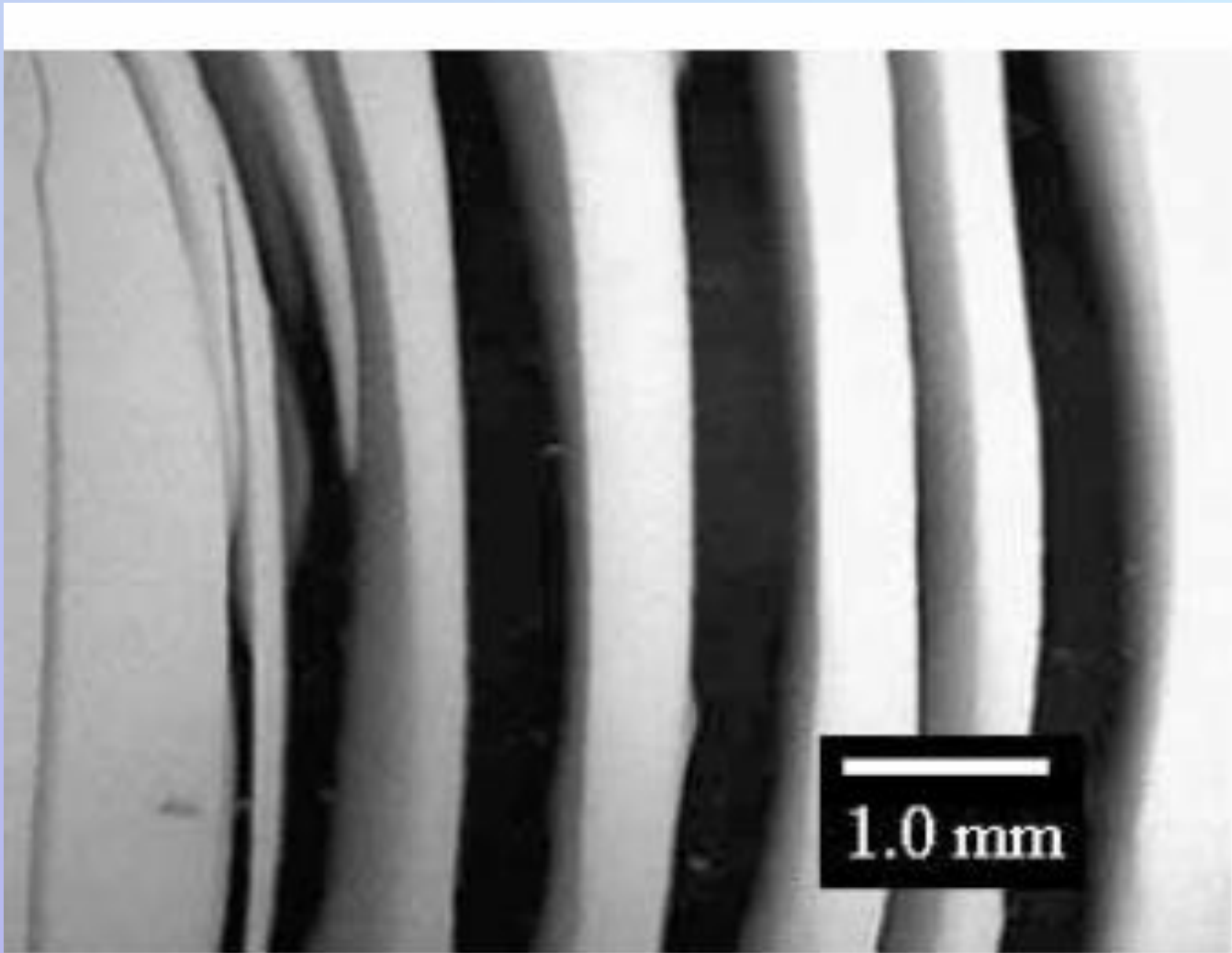


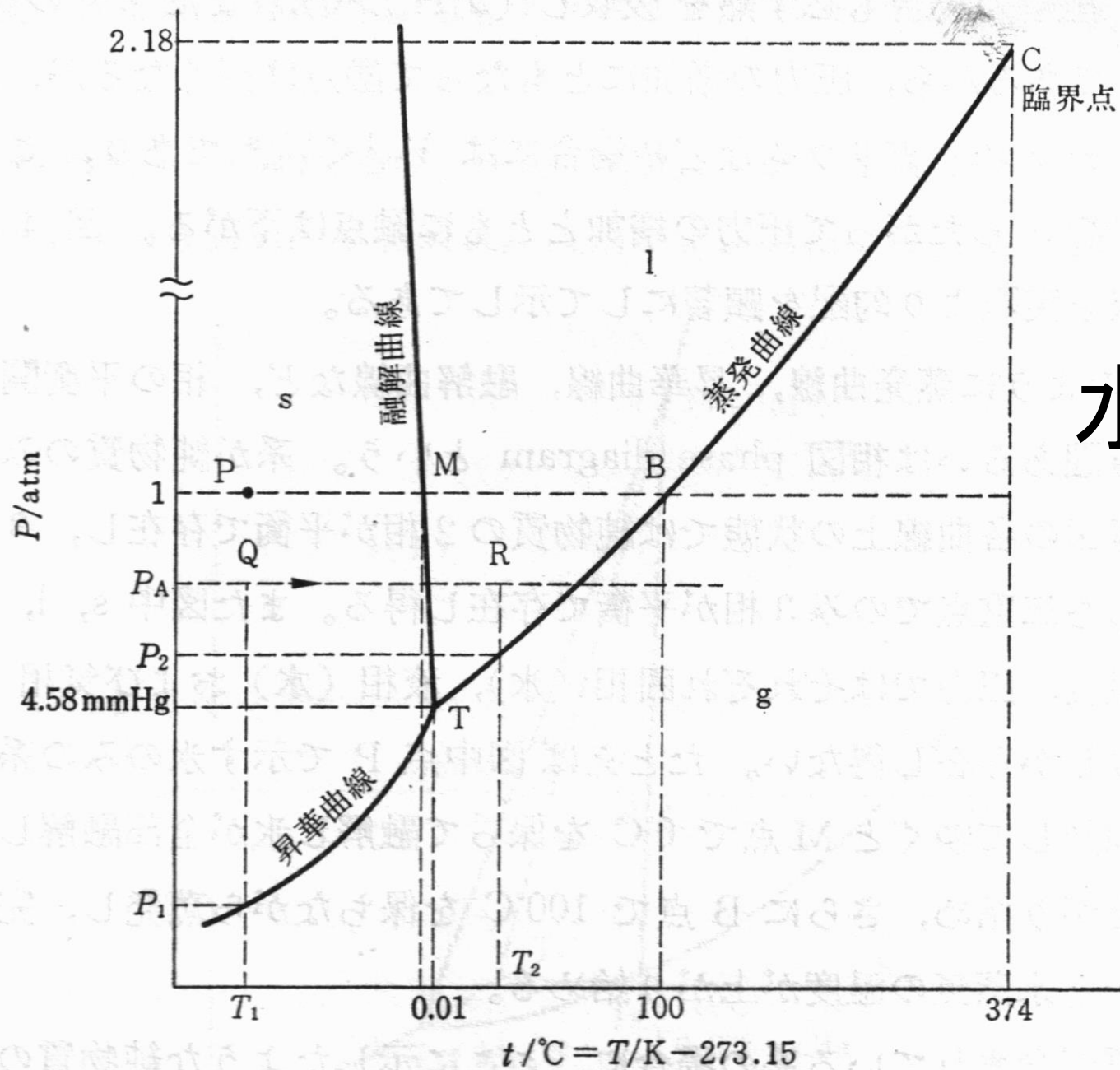
水面から高さ
10cmの水分量

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

凍土中におけるアイスレンズの成長

Growing Ice lenses in freezing soil





水の状態図

火星

-63°C

6 hPa(4.5mmHg)

図 4.4 水の状態図の略図

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

$$G / n \equiv \mu \quad ...⑦$$

$$d\mu = vdP - sdT \quad ...⑧$$

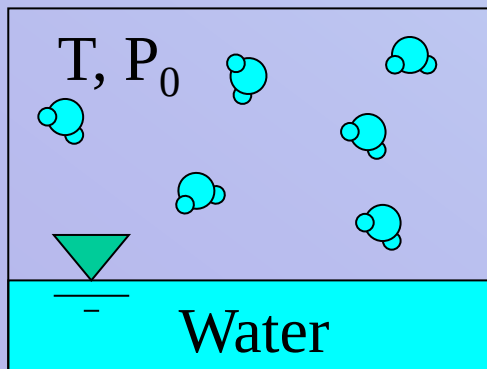
吸着水と水蒸気の平衡 (温度一定)

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

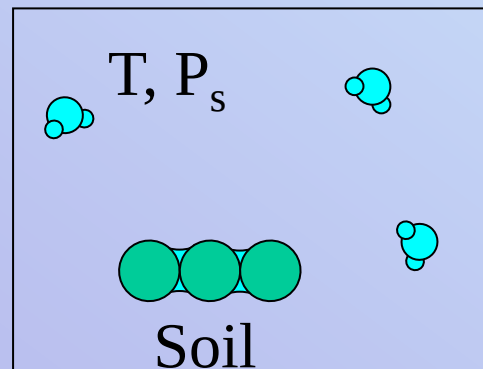
$$\mu_0 - \mu_s = \int_{P_s}^{P_0} v dP = \int_{P_s}^{P_0} \frac{RT}{P} dP = -RT \ln\left(\frac{P_s}{P_0}\right) > 0$$

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

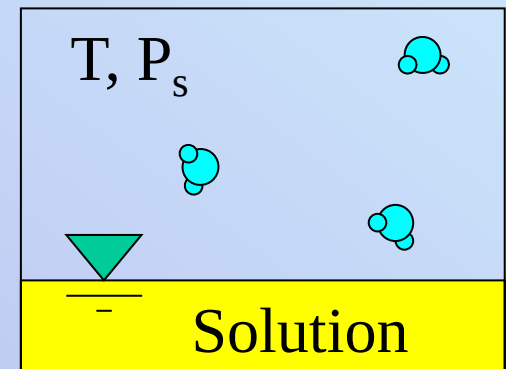
P:水蒸気圧 v:体積(比容積)
R:ガス定数 T:絶対温度
 P_s/P_0 :相対湿度



(A) 水蒸気－純水



(B) 水蒸気－土壤水



(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。

不凍水

0°C付近で急激に変化

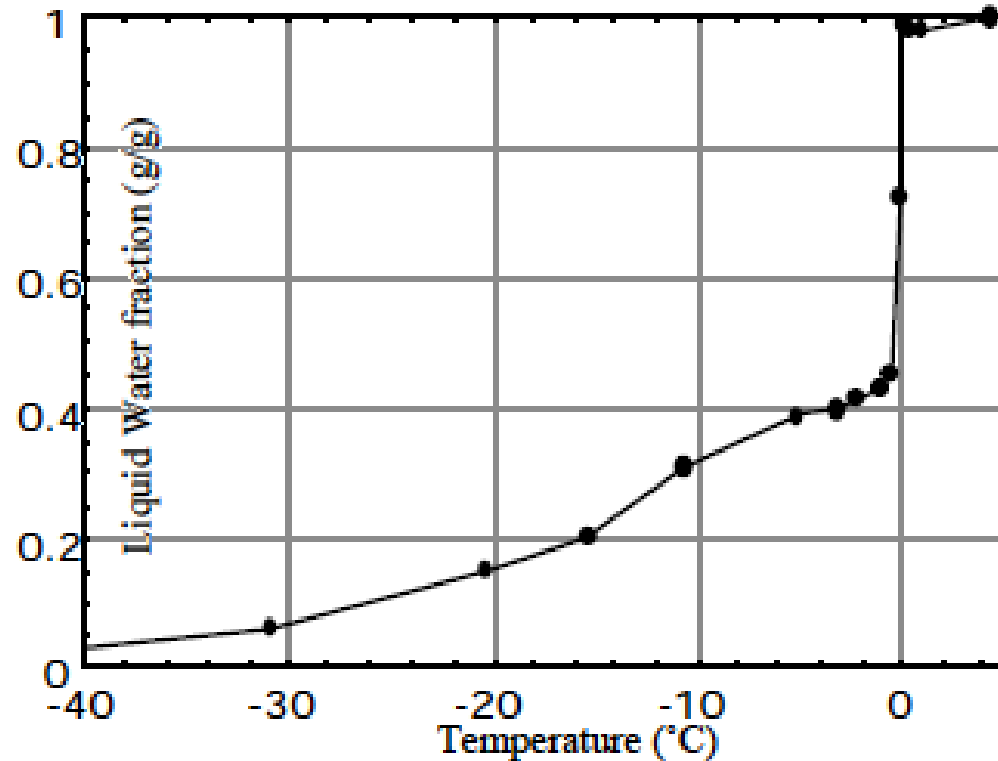
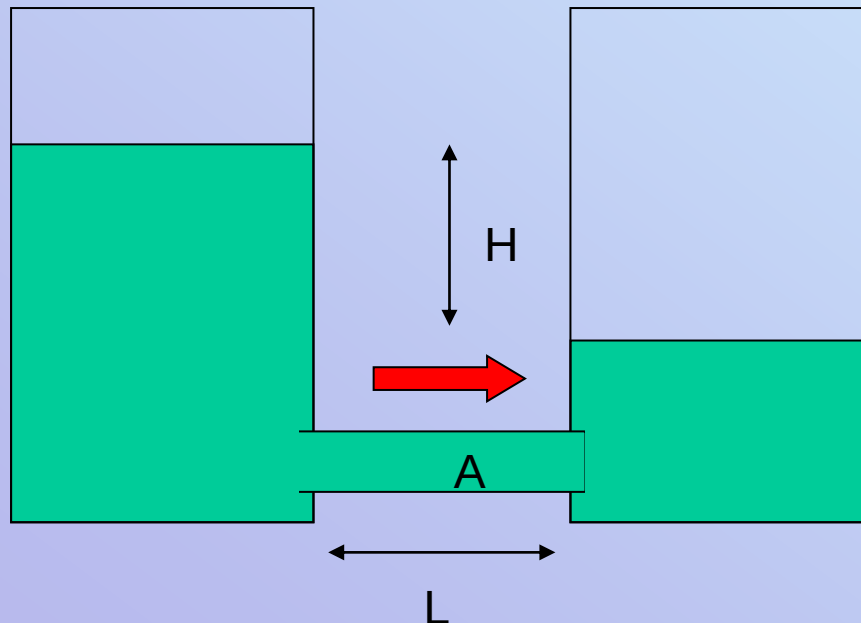


Fig. 2. Liquid water fraction in the frozen porous medium measured by NMR technique.

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)

凍結過程の熱と水分の移動式

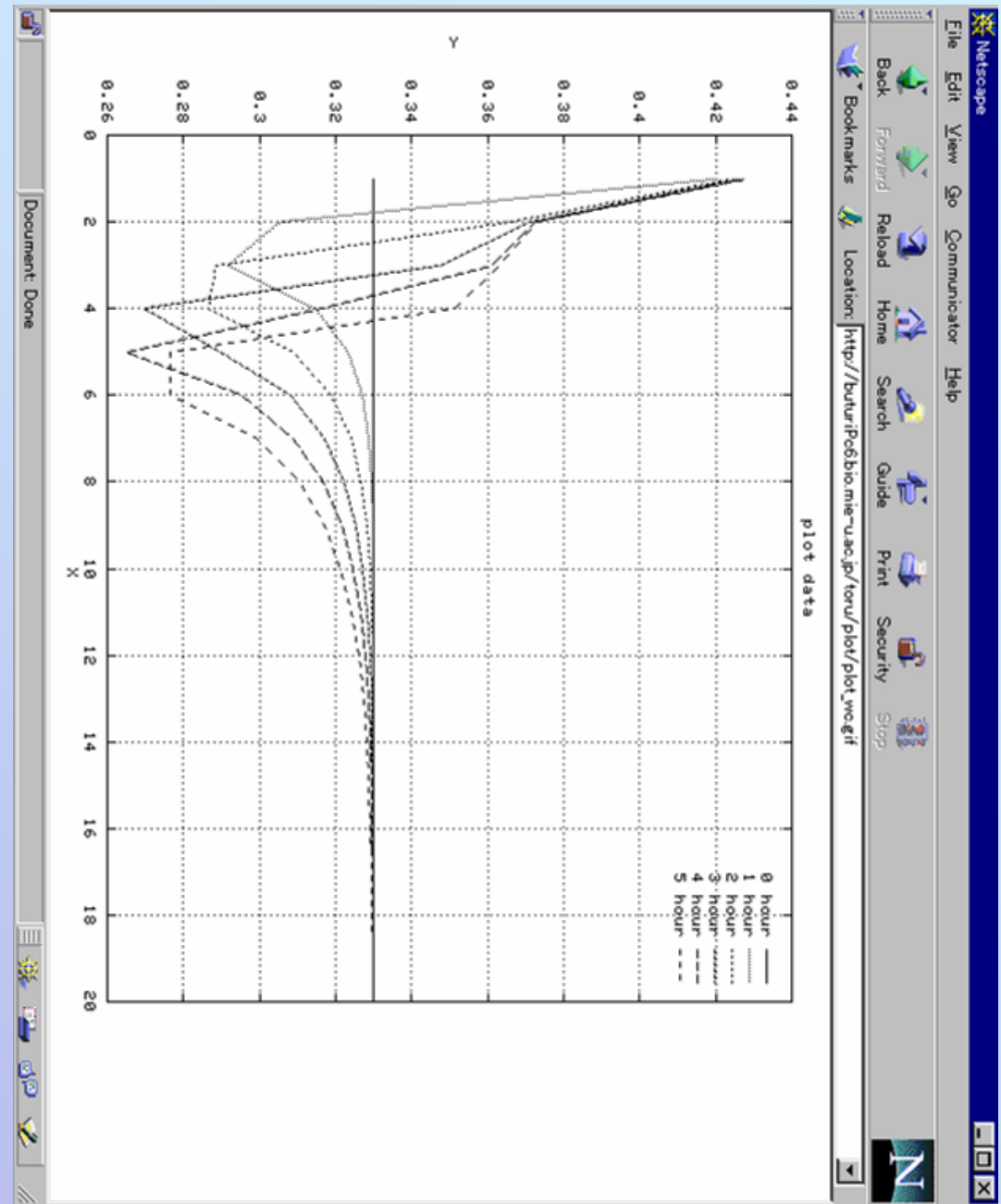
$$\begin{aligned} & \frac{\partial \theta_T(h)}{\partial t} + \frac{\rho_i}{\rho_w} \frac{\partial \theta_i(T)}{\partial t} = \\ & = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{Lh}(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K_{Lh}(h) + K_{LT}(h) \frac{\partial T}{\partial z} + K_{vh}(\theta) \frac{\partial h}{\partial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

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

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

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



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

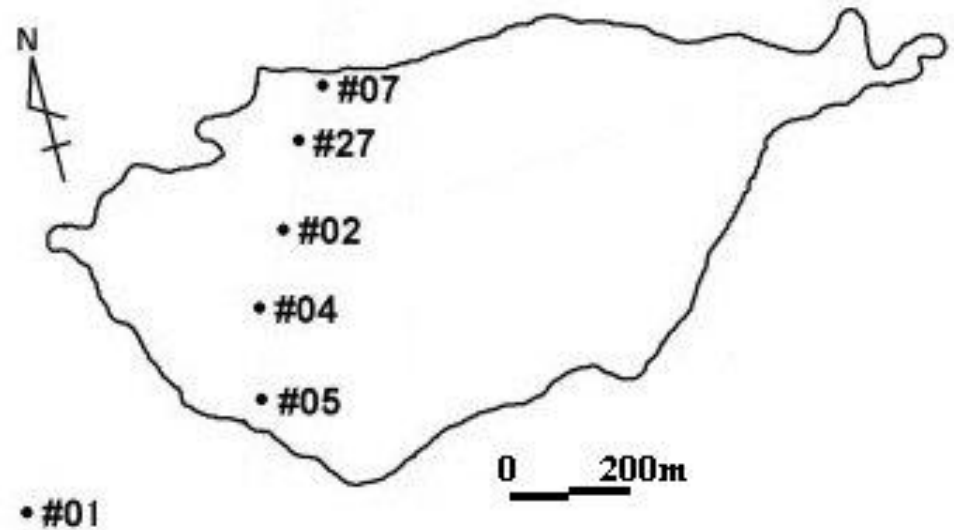


GAME-Siberia (1997-2000)



アラス調査 (2000)

- 湖や草原
– 塩類土壌



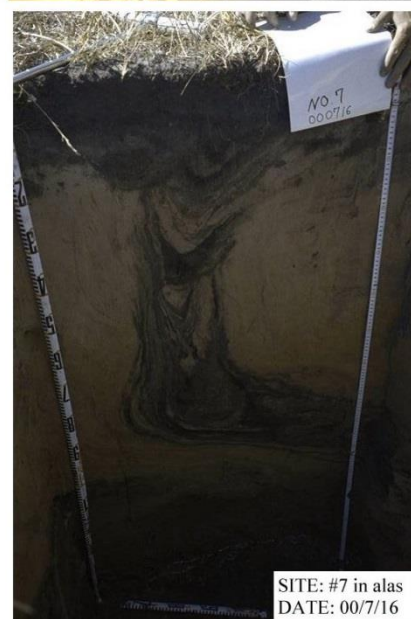
レナ川を横切る



穴に埋まって、はいポーズ

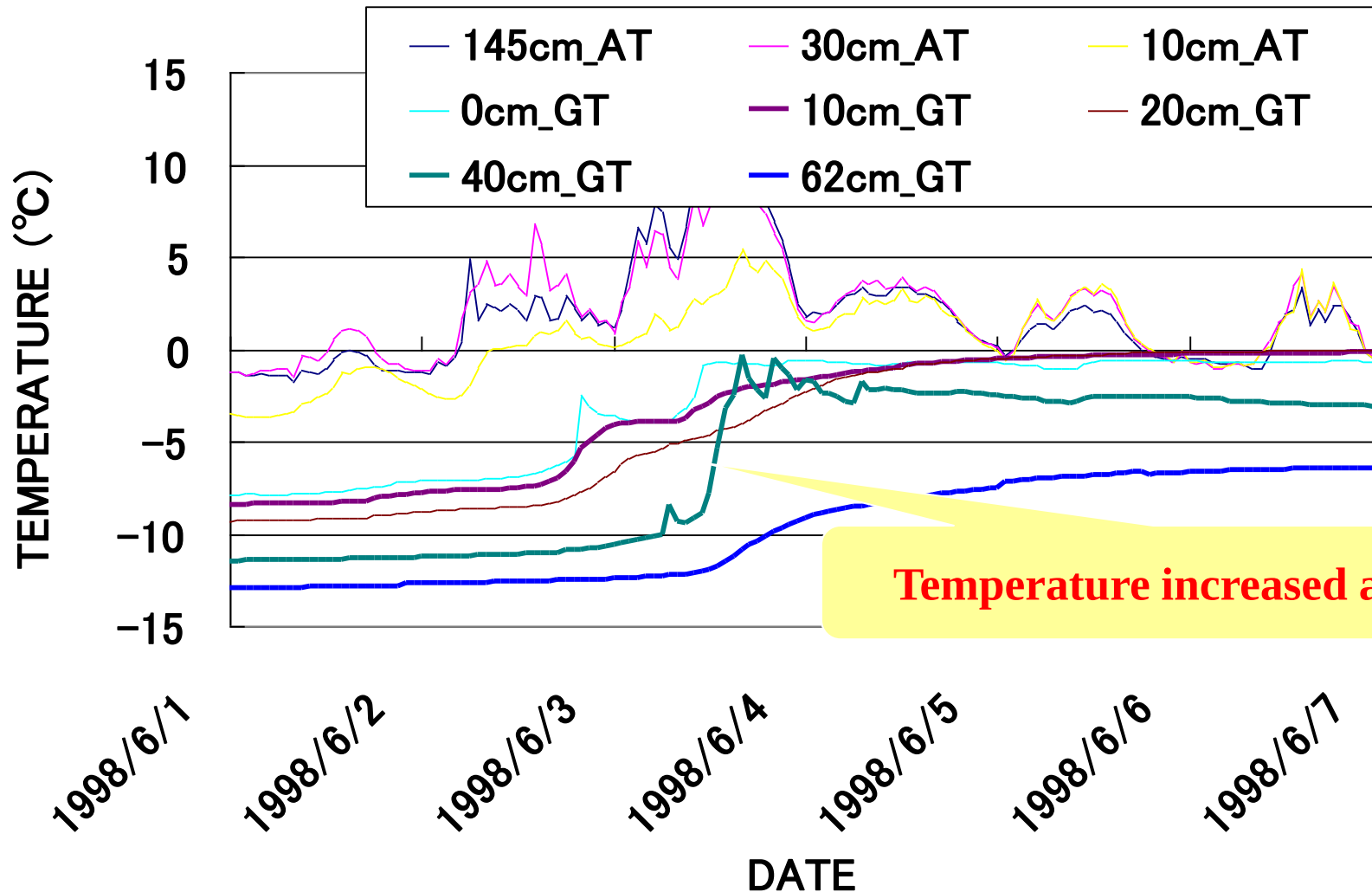


アラスの土壤断面



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

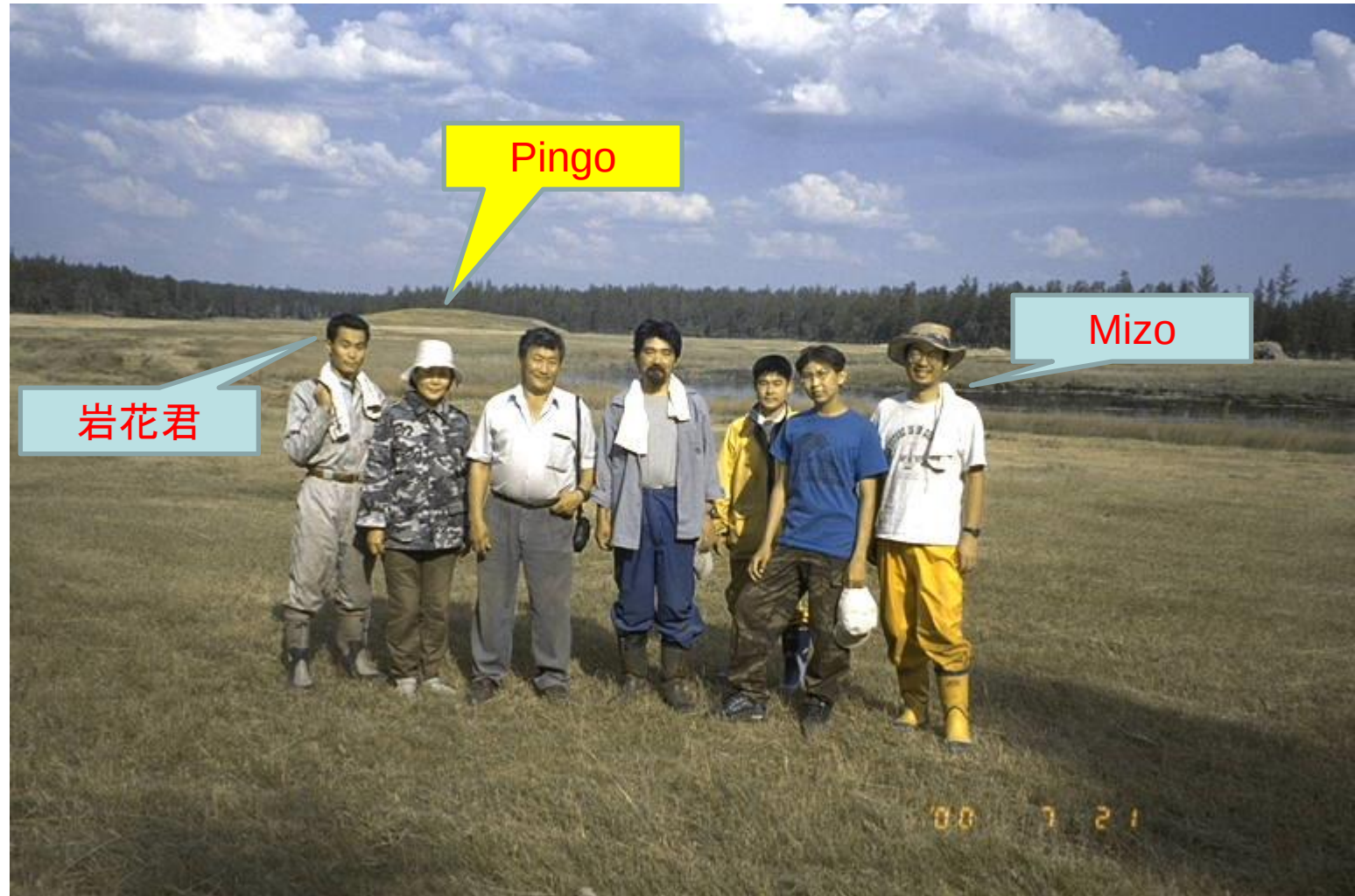


図1：2020年に発見された第17クレーター。発見されてすぐに調査隊が現地に入り、内部構造に関する最新知見が得られた（撮影：Evgeny Chuvilin）

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

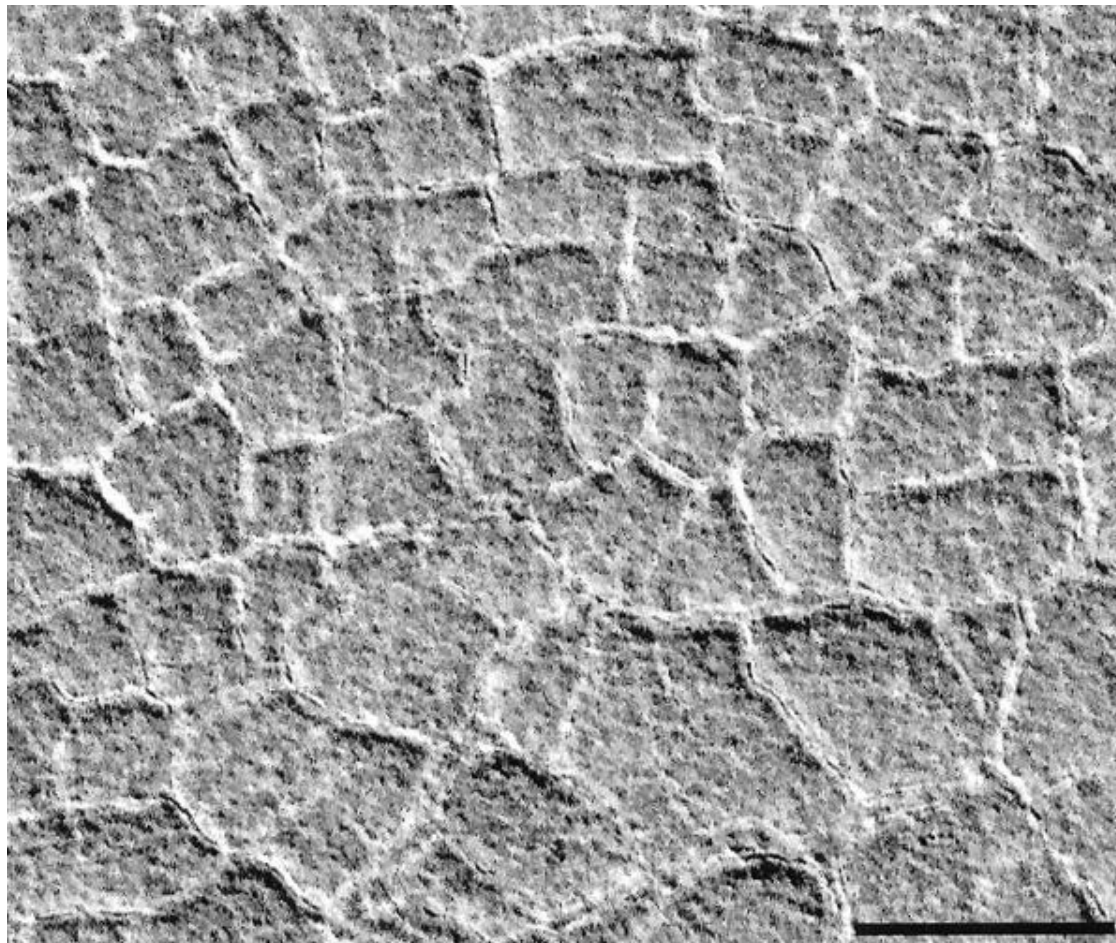
ピンゴ (Pingo) ≠ ビンゴ (Bingo)!



惑星の凍土

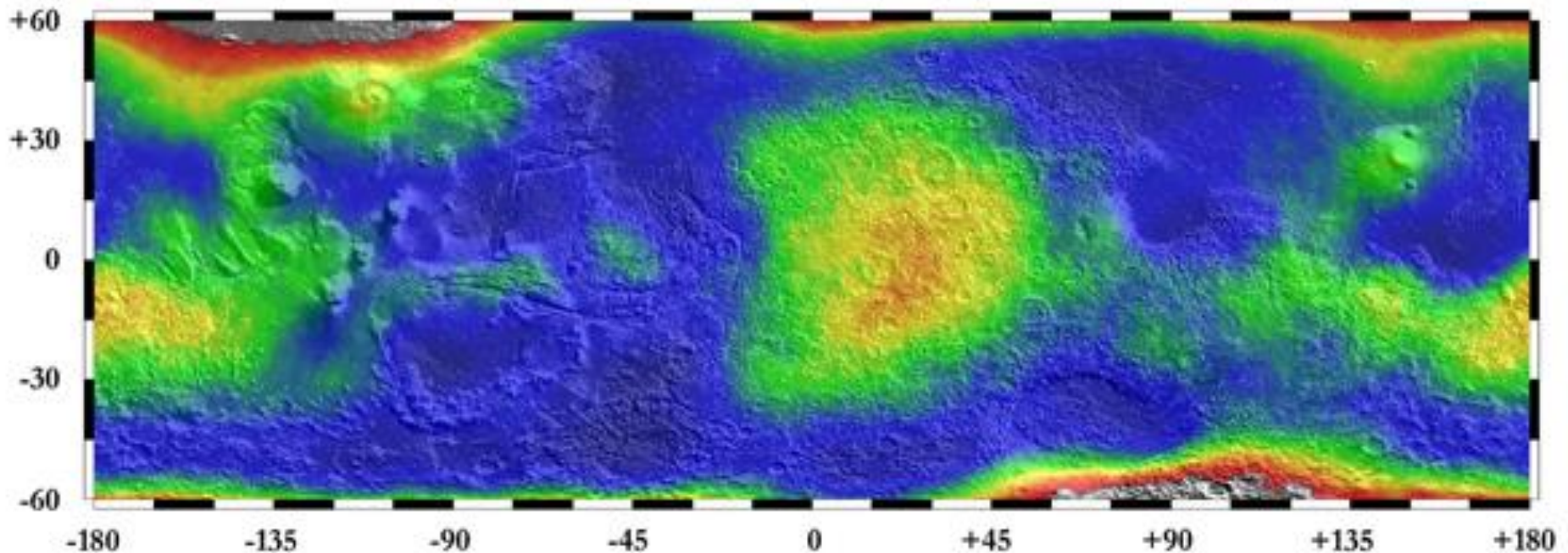
火星の高緯度地域に見られる Polygonal ground

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: Titus W.C., T.H. Prettyman, E. Heston, J.J. Plot, D.A. Rob, D.Y. Vasilius, M.Y. Medhat, A.E. Matgen, E.W. Higgins, S. Karamellaki, W.N. Weisman, R.C. Eklund, H.G. Fawcett, D.J. Lawrence, and R.E. Toth, 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. Fawcett, H. Fawcett, G. Gerasimov, D. Lawrence, S. Matgen, G. McGinnis, K. Moore, C. Prettyman, R. Toth, D. Vasilius, and R. Weisman. - 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)

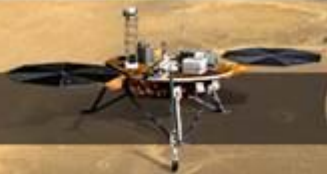


アドレス(D) 移動 リンク >>

 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



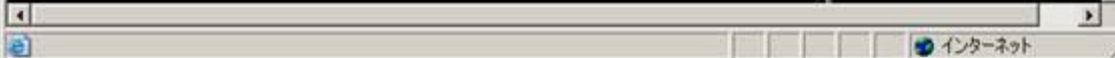


Download Image
[Small](#) - 31kb
[Medium](#) - 113kb
[Large](#) - 455kb

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.



(おまけ) 土の凍結を利用した 福島における農地除染

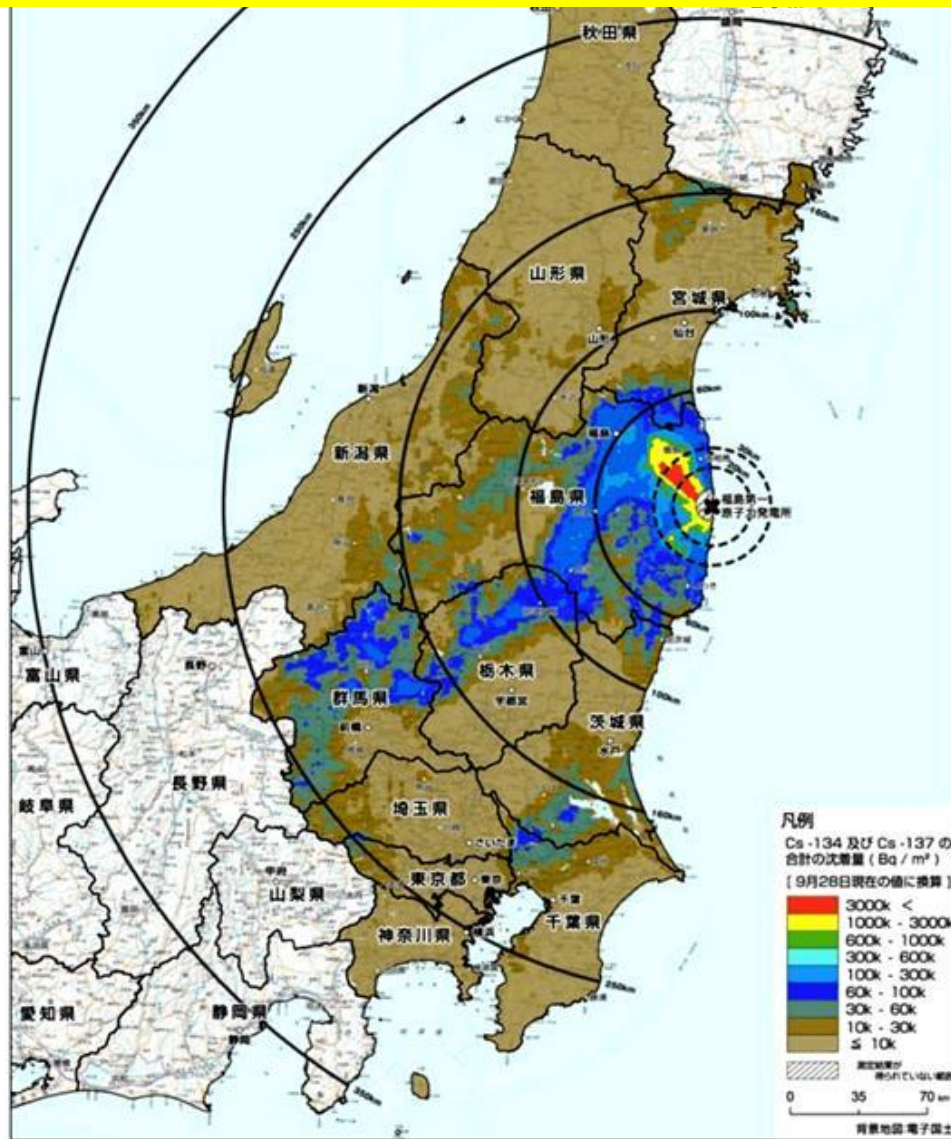
10年の振り返り

<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



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

行先はどこ？ 汚染土の入ったフレコンバック



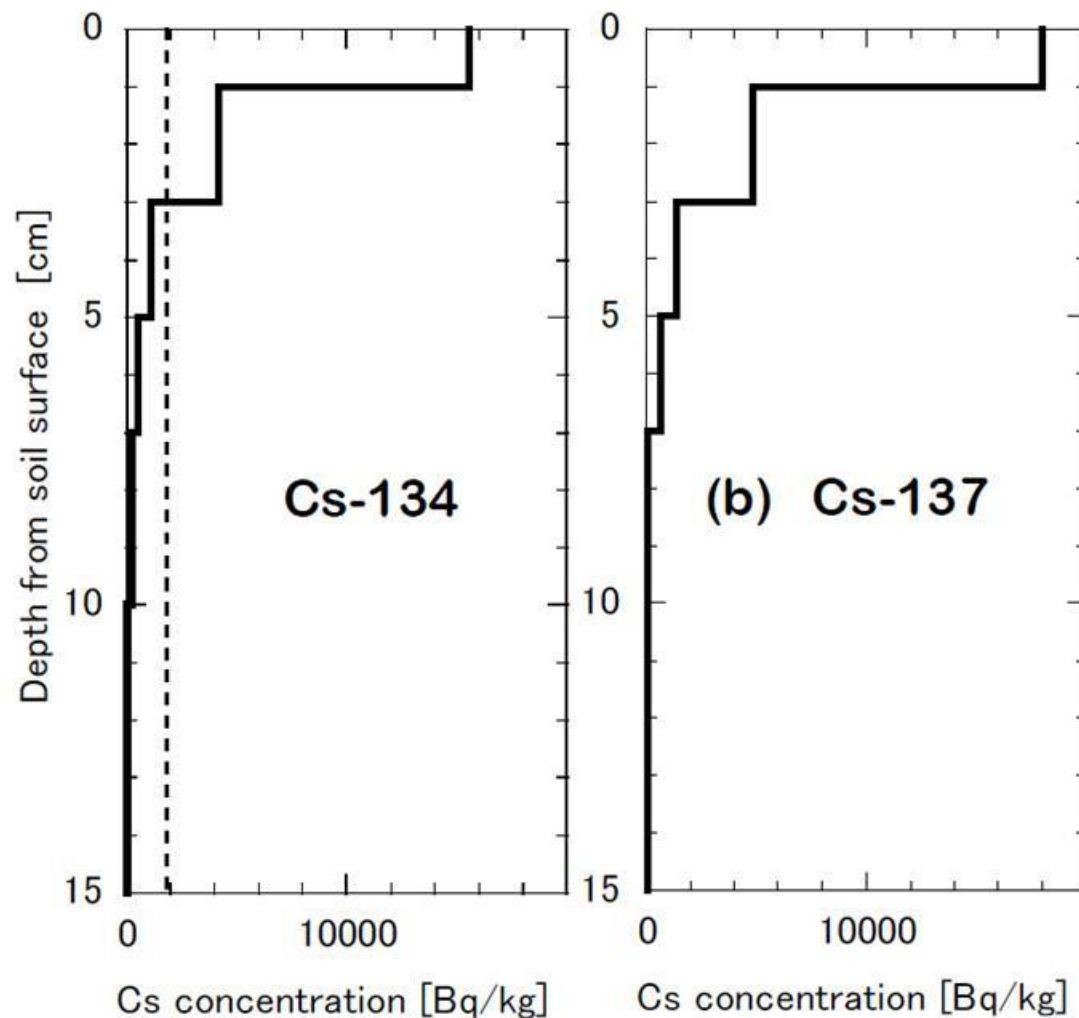
飯舘村草野地区(2012年6月24日)



飯舘村須萱地区(2013年8月17日)

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

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												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)			

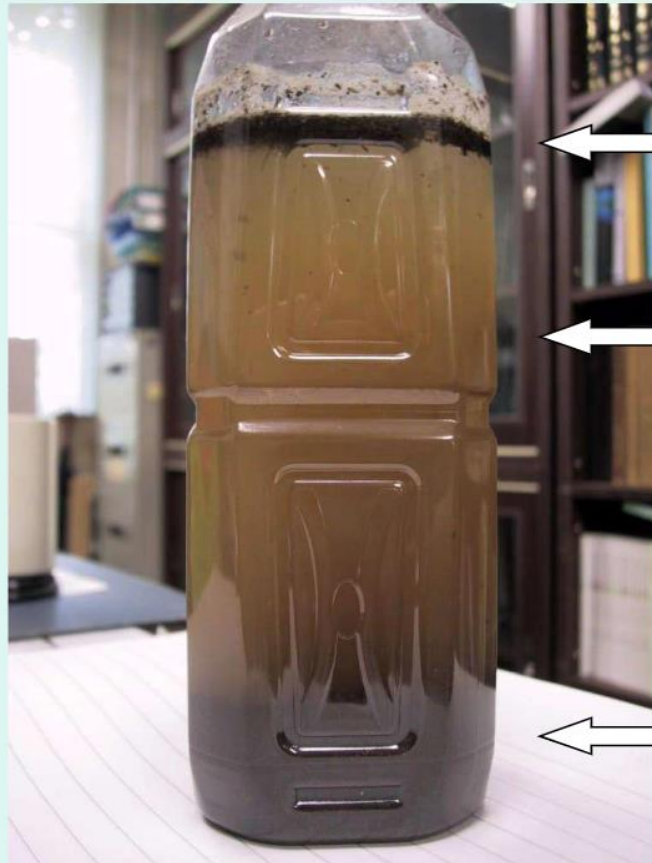
* Lanthanide series

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)
--------------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

2.2 土壌の主要な構成成分 －粘土鉱物、土壌有機物、土壌生物－



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)

層状ケイ酸塩粘土の基本構造

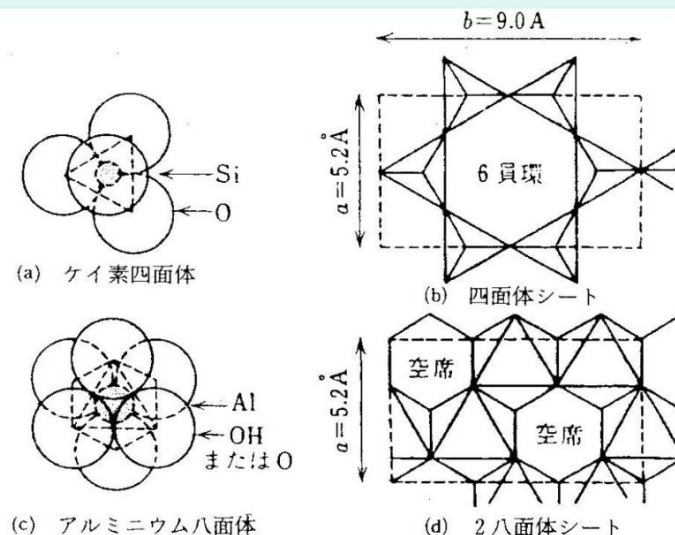
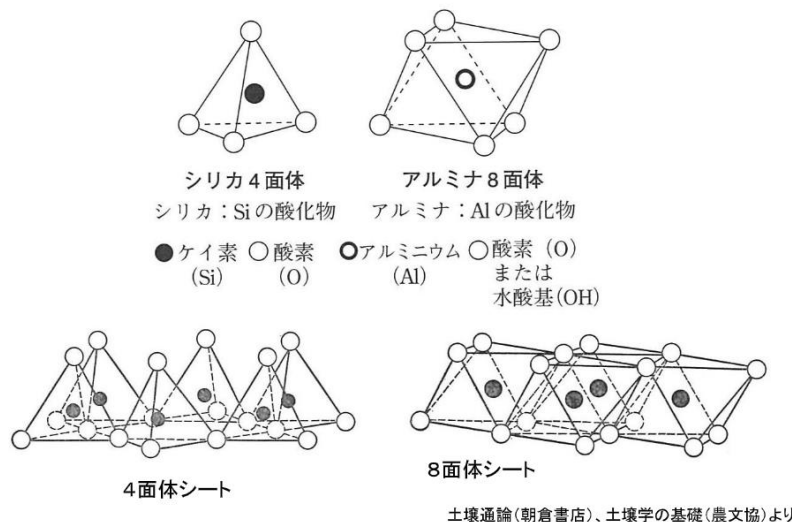
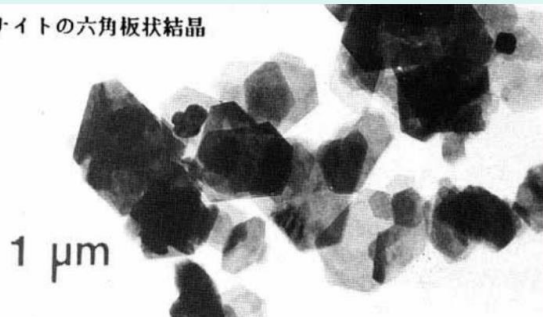


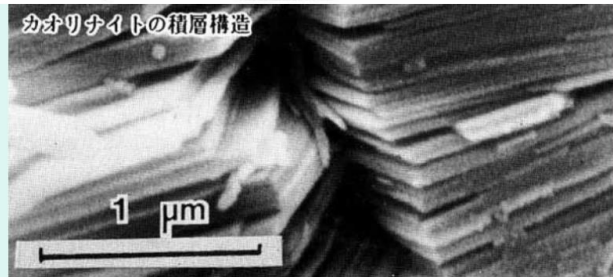
図 3.1 層状ケイ酸塩鉱物の基本構造 (三枝, 1989)

(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

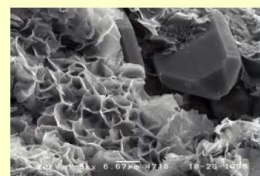


カオリナイトの積層構造



景德镇の材料
白粘土の産地
高嶺⇒カオリン

2:1型粘土鉱物 (モンモリロニト)



高い表面積
高い陽イオン交換容量
(CEC=47-66 cmol kg⁻¹)
高い肥沃度と養分保持能力

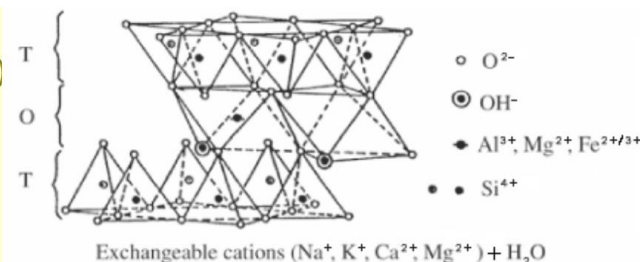
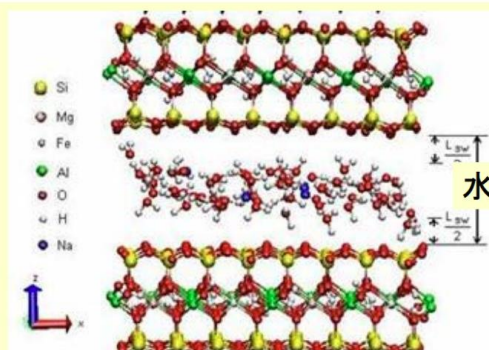
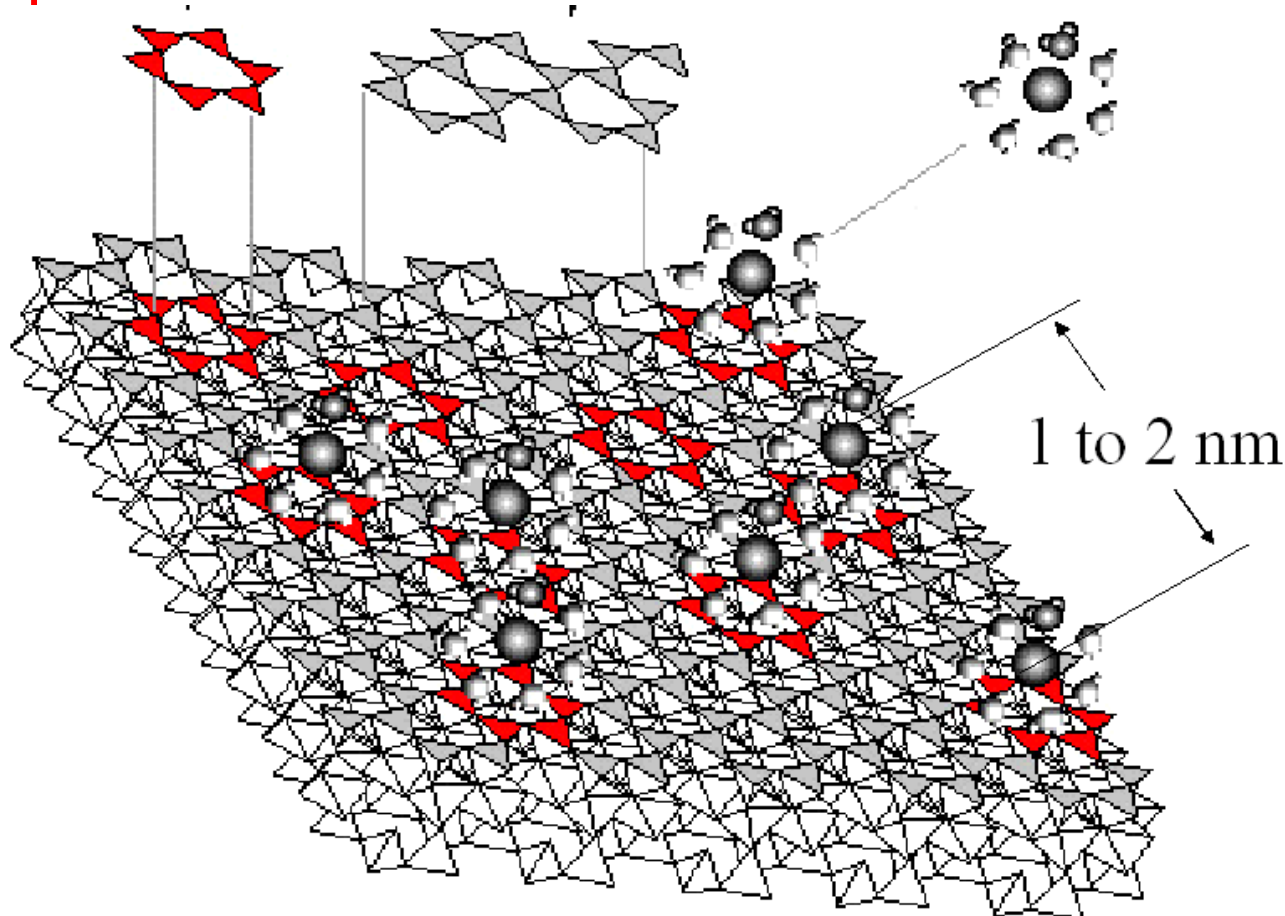


Figure 1. Montmorillonite structure. T: tetrahedral sheet; O: octahedral sheet.

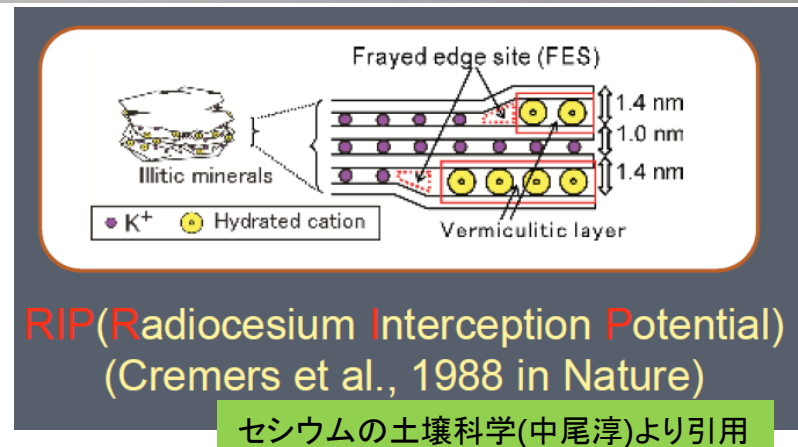
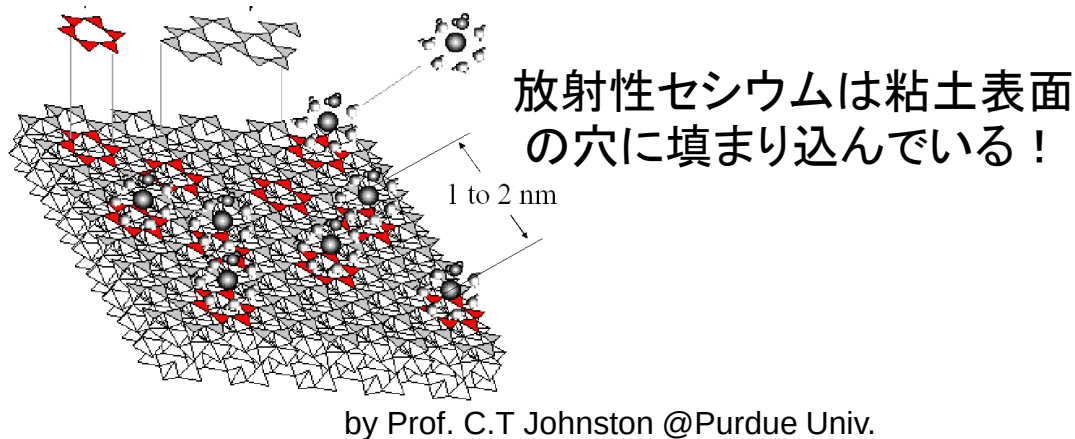


放射性セシウムは粘土表面の穴に 落ちている！

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 $\mu\text{Sv/h}$

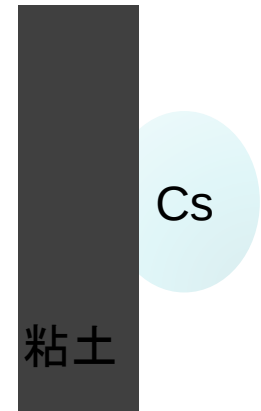
→ 3.5 $\mu\text{Sv/h}$

→ 7.0 $\mu\text{Sv/h}$

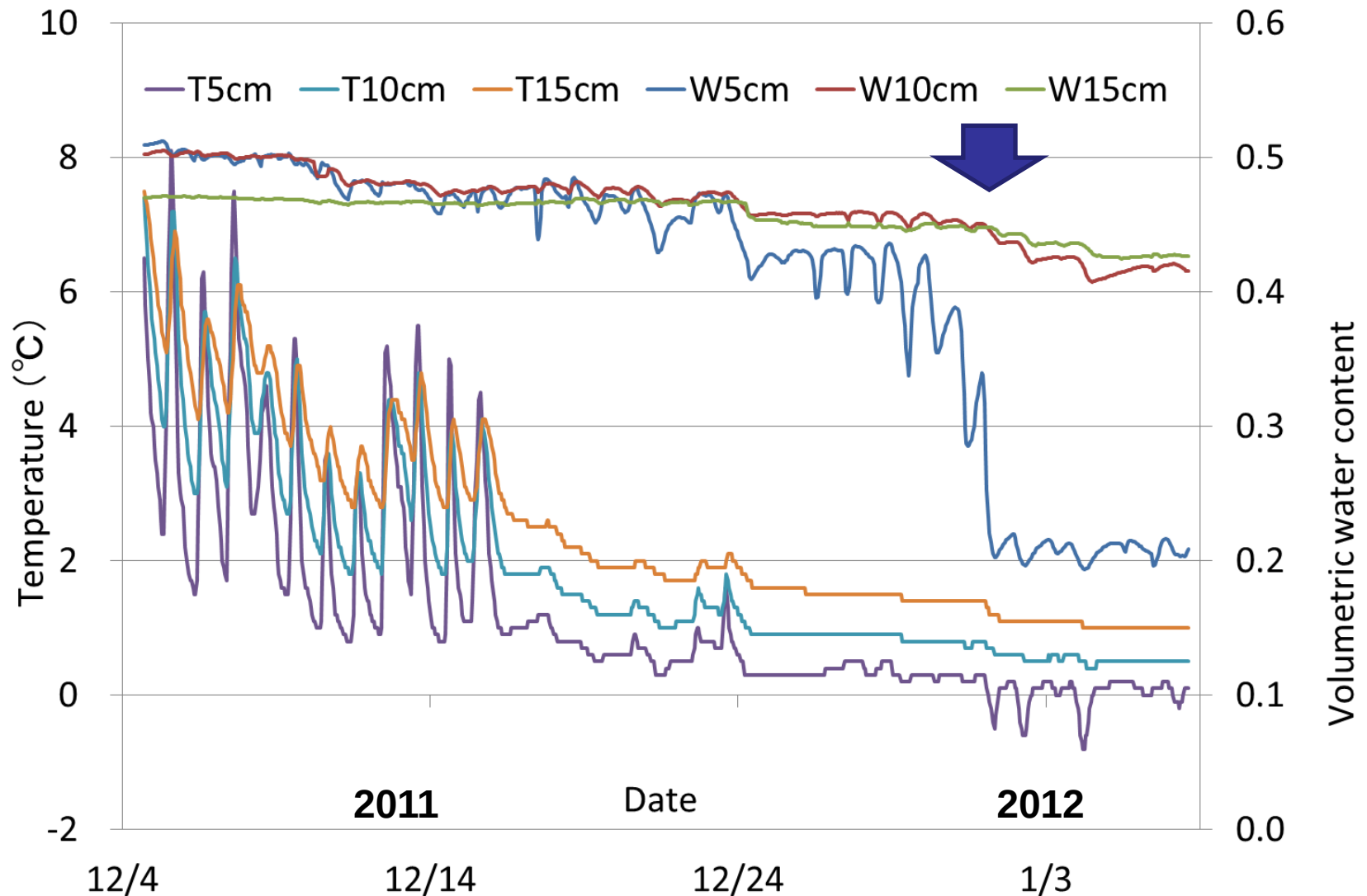
放射性セシウムを理解するポイント

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



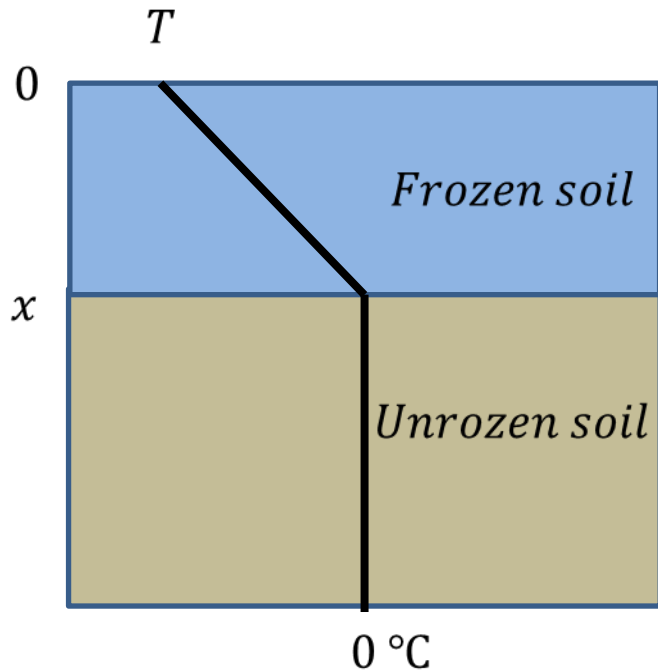
地表面からの放射線量(コリメータ付)が1.28 μ Sv/hから0.16 μ Sv/hに低下

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

議論ネタ

- 科学と政治
 - 原発事故、コロナ禍
 - 科学者としてどうすべきか
- 大学の役割は何だろう？
 - 誰の、何の、ための大学なのか？
 - 学生はどうあるべきか？
- 土をどう教えるか
 - 食料問題
 - ローテクの組み合わせ
 - 持続可能な農業
- 徹底した現場主義
 - 問題は研究室で起きているのではない！
現場で起きているんだ！！

It's a **FAN** of agriculture!



踊る大**調**査線

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)



Resilience Agronomy Starting from Fukushima

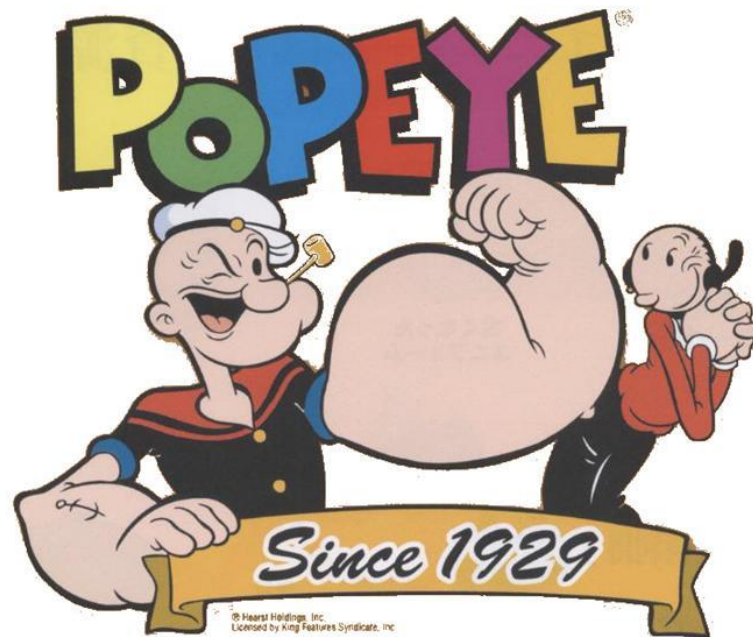
1

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



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！





みぞらぼ



Search

About 2,490,000 results (0.24 seconds)

[Advanced search](#)

講義

<http://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/mizo/lecture/leclist.html>

溝口研究室



Mizo lab.