

初級技術者のための地下水講座①地下水の不思議



近藤昭彦（千葉大学名誉教授）

千葉県養老川上流の自噴井

見えない地下水循環の理解

地下水の基礎

- 現場における経験の蓄積 ← 文献を通じた経験
 - ⇒ 地形・地質・気候・植生、...
 - ⇒ 3 + 1次元で地下水をみる

組み合わせでみる

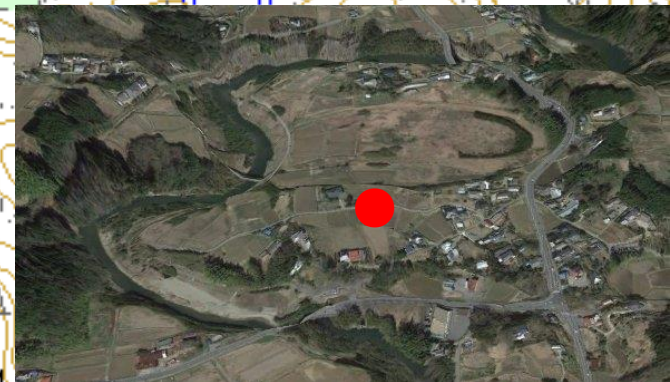
- 演繹的な理解 モデルによる理解
 - ⇒ 科学的なモデルの活用
 - ⇒ 地下水流動系の理解



上総丘陵を穿入蛇行する養老川
段丘化した旧河道が存在
自噴井（深度600m）は段丘の上に位置する
そこは現河床より20m以上高い位置



地理院地図による東西地形断面



カバーストの自噴井の場所●

(地図閲覧サービス(ウォッチズ) <http://watchizu.gsi.go.jp/index.html>)

自噴井の不思議

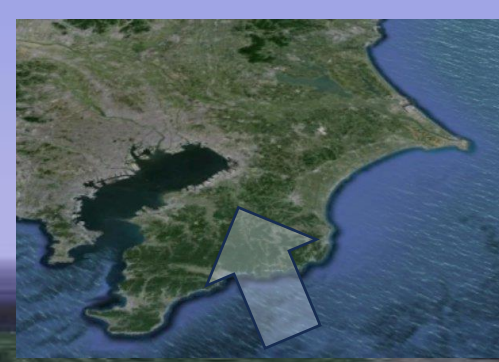
千葉県養老川上流域

- ・ 東京湾に向かって緩く傾斜する第四系の未固結砂泥互層

千葉期
命名なった！

次ページの地質断面の方向

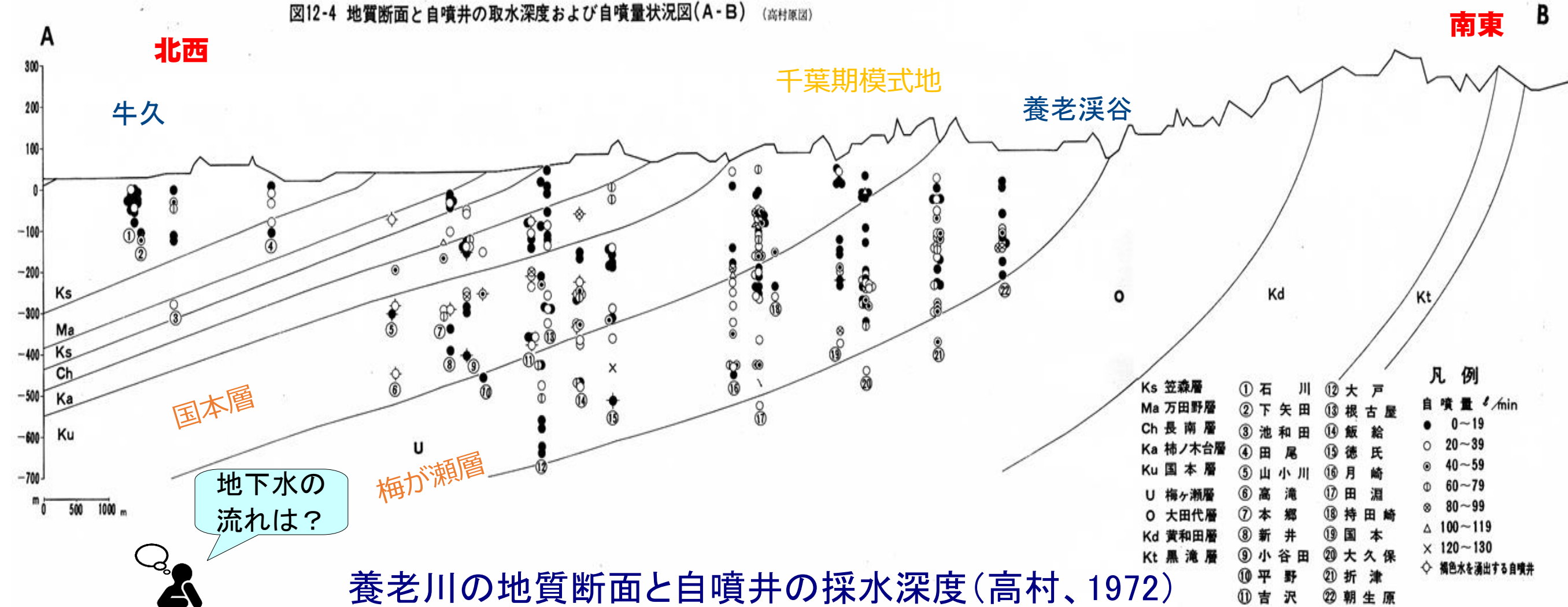
砂泥互層の丘陵地域の地下水の流れは？
地下水はどこから来て、どこへ行くのか？



単斜構造を呈する砂泥互層一房総の下総層群・上総層群



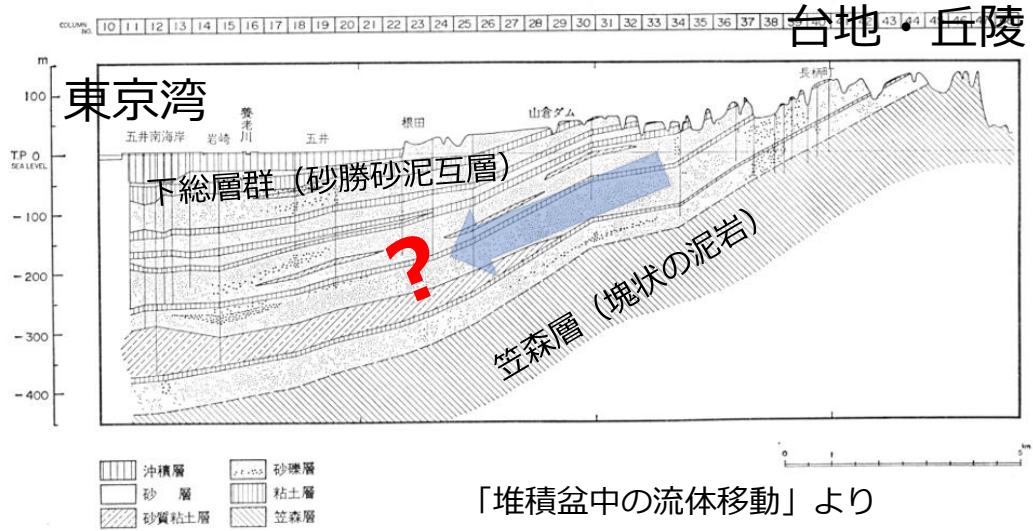
図12-4 地質断面と自噴井の取水深度および自噴量状況図(A-B) (高村原図)



養老川の地質断面と自噴井の採水深度(高村、1972)

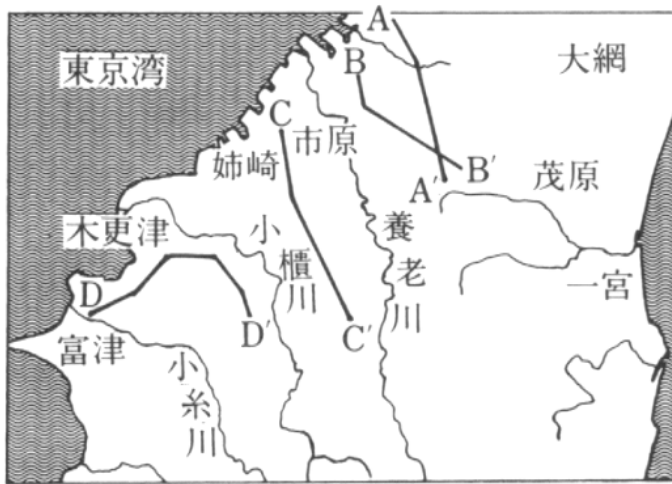
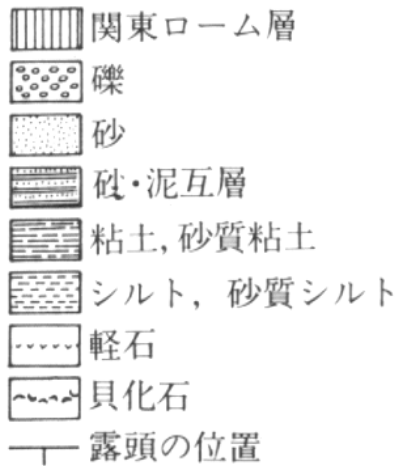
下総層群—明瞭な砂泥互層—の地下水の流れは？

東京湾に向かって傾斜する単斜構造（将棋倒し構造）

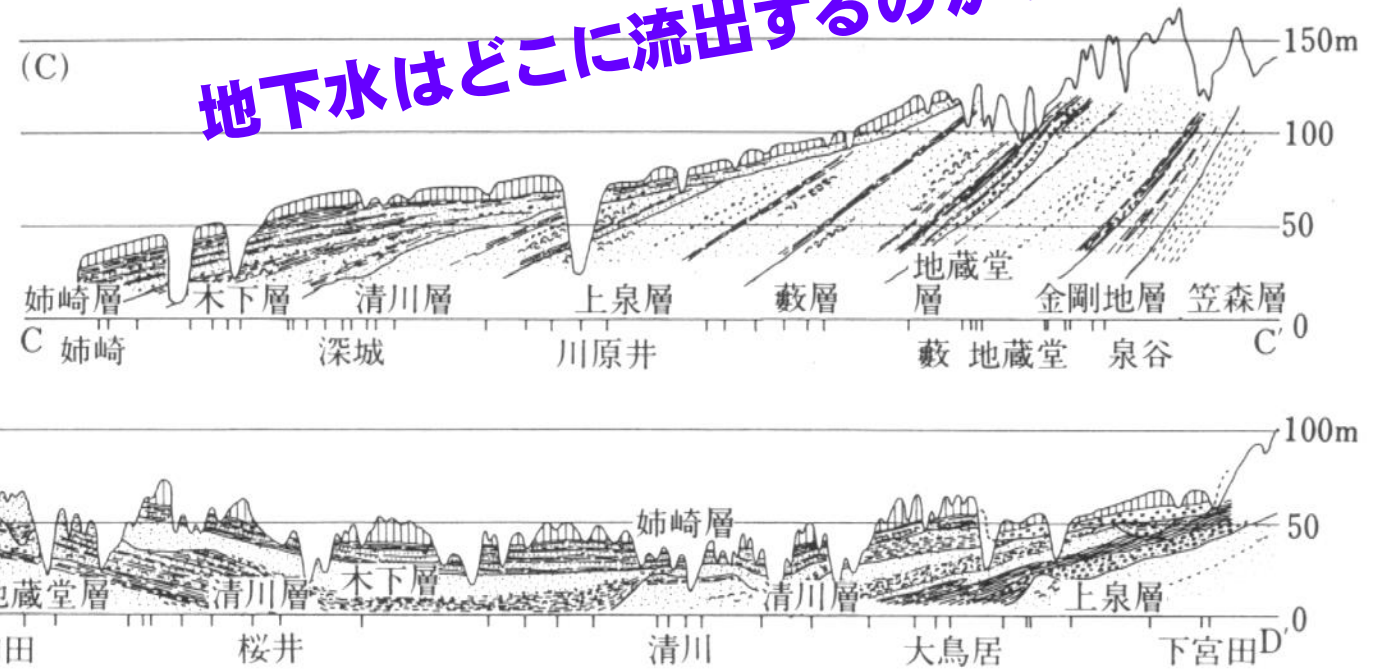
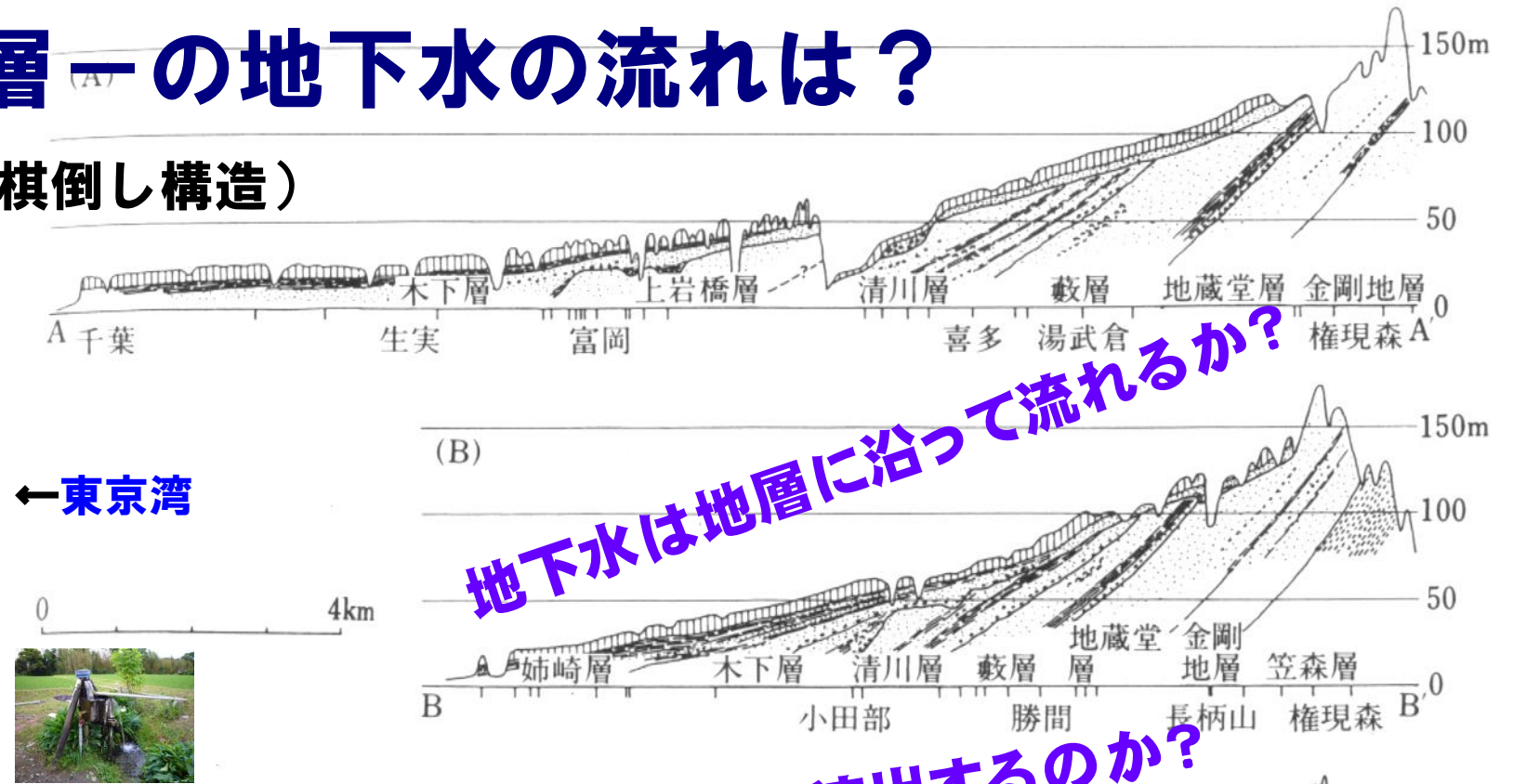


「堆積盆中の流体移動」より

地下水が傾斜する砂層（帯水層）の傾斜方向に流れるのであれば、出口がなければならない。泥層は不透水層ではなく、難透水層。



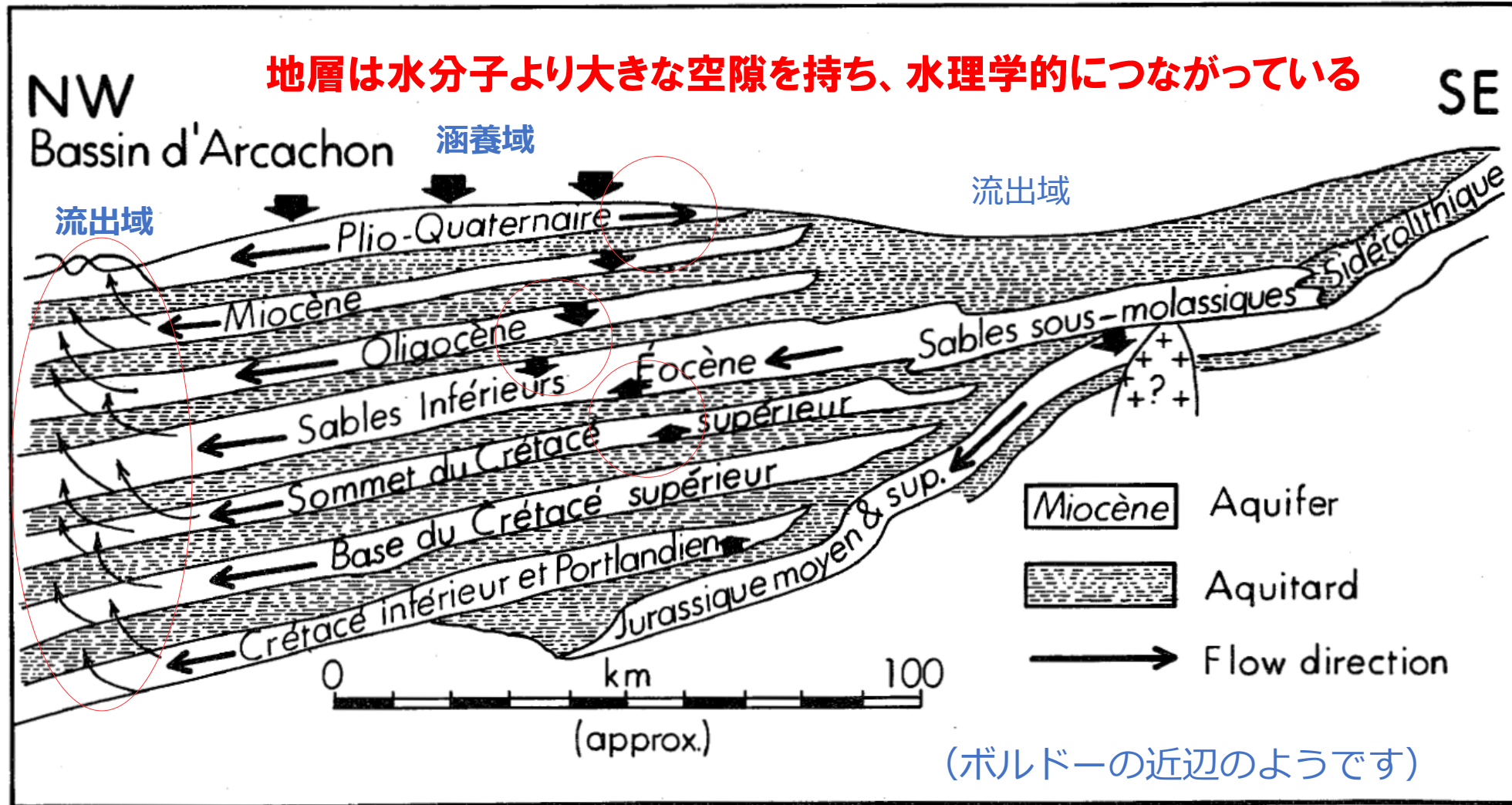
(菊池、1977)



Hydraulic Continuity in Large Sedimentary Basin

Tóth(1995), Hydrogeology Journal, 3(4)

Regional hydraulic continuity is a phenomenological property of the rock framework.



地下水の涵養域は地域の最高所

流出域は地域の最低所

難透水層を通過する地下水の流れがある

主要な地下水流動の経路となる層準（帯水層）がある

いつも地層の傾斜方向に地下水が流れるわけではない



Figure 3. Schematic of multiple-aquifer systems and computed flow rates, Aquitain Basin, France (modified from Besbes et al., 1976).

水は低きにつく・・・何の低きに？

ポテンシャル（水理水頭、全水頭）

$$\begin{aligned}\text{水理水頭}(h) &= \text{高さ} + \text{圧力} \\ &= \text{位置水頭} + \text{圧力水頭}\end{aligned}$$

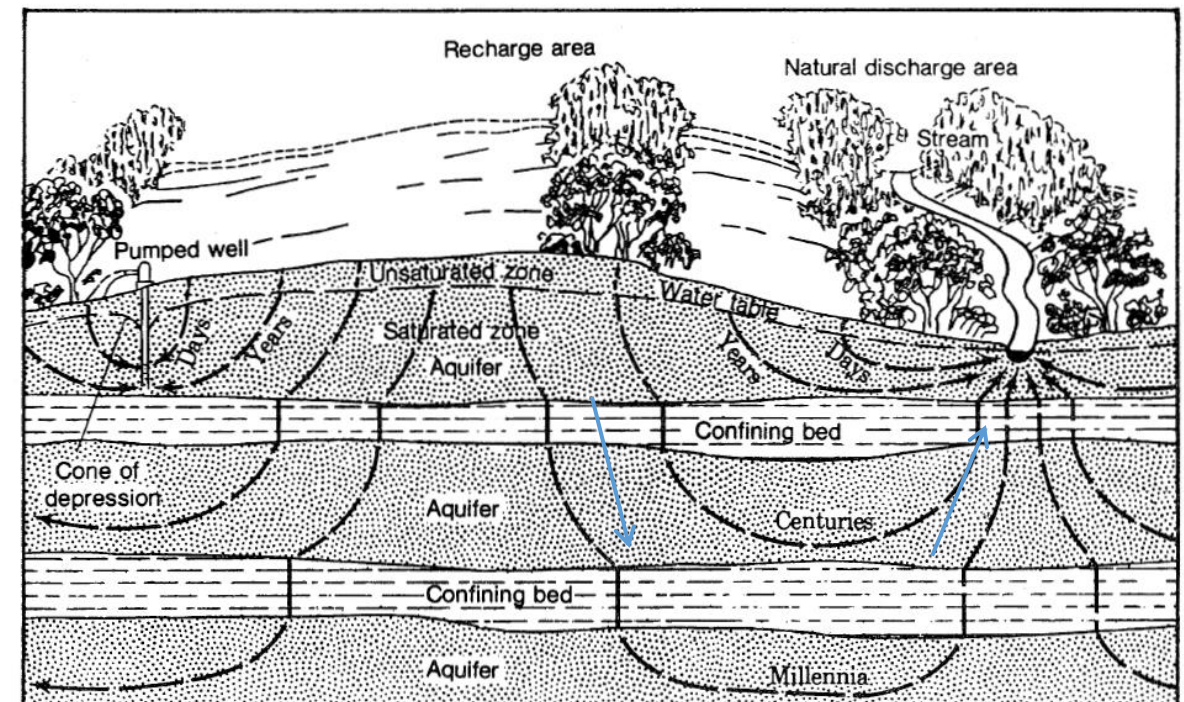


川の場合は圧力は0（大気圧）

$$\text{水理水頭}(h) = \text{位置水頭}$$

地下水の場合

$$\begin{aligned}\text{水理水頭}(h) &= \text{位置水頭} \\ &\quad + \text{圧力水頭}\end{aligned}$$



注) 水理水頭 h : hydraulic head 地下水を駆動する力を与える物理量

Tóth(1995)

地下水の運動

ダルシーの法則 (1856)

$Q = KA(h_2 - h_1) / \ell$ 流出量 Q は、水頭 (h) の損失 ($h_2 - h_1$) に比例

ここで、 A : 断面積

K : 透水係数

ℓ : 流れの長さ

$$q = Q/A = -K(dh/d\ell)$$

ここで、 q は単位時間に
単位断面積を通過する
流量

→ ダルシー流速
(見かけの流速)

$$q = -K \text{grad} h$$

この図では、水は流れている。
水を流すことを止めたら、水頭
はどうなるでしょうか。

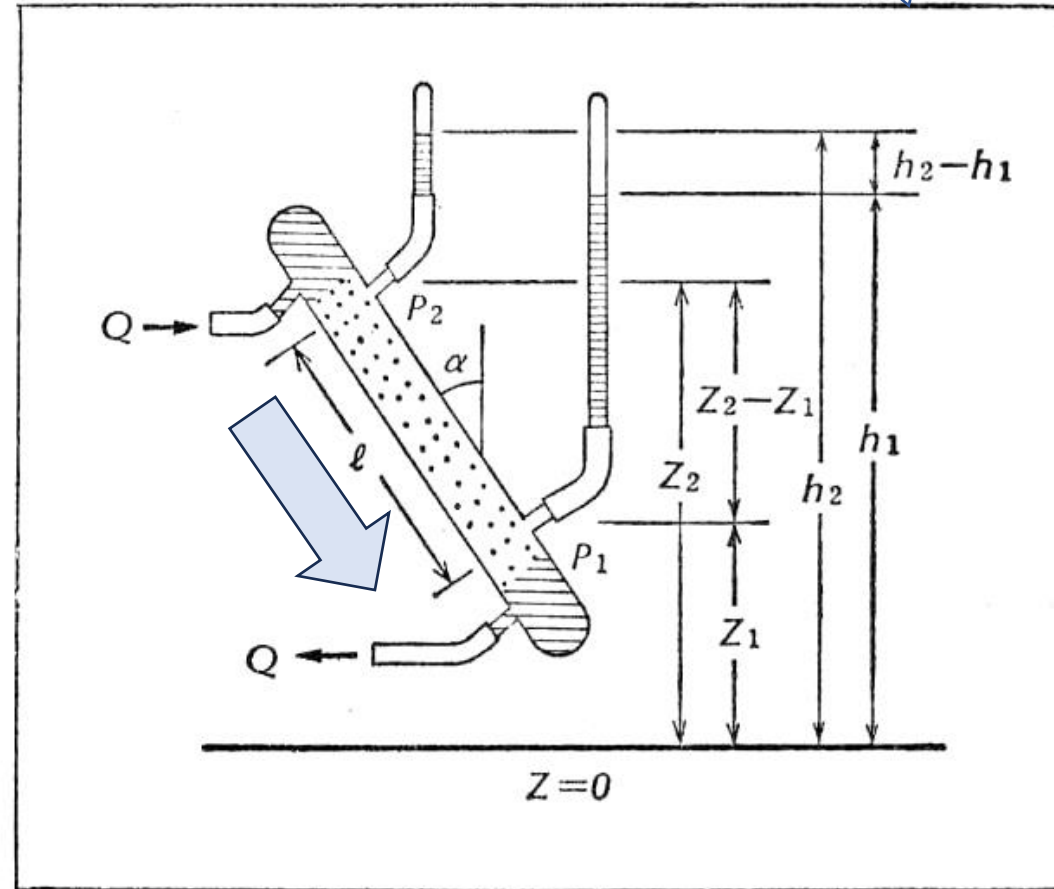


図 1.12 ダルシーの実験

(山本荘毅、新版地下水調査法、古今書院)

ピエゾメーターとは底部が地下水面と連続するパイプ（自作できる！）

ある深度の圧力水頭はピエゾメーター内部に立ち上がる水柱の高さ

位置水頭は、その場所の任意の基準面からの高さ

全水頭は位置水頭 + 圧力水頭

地下水は全水頭が勾配の方向に流れる



地下水の運動 基礎式

ちょっと難しいかも知れませんが、じっくり考えて

数式は難しく感じるかもしれませんが、その意味を考えて！

q_{xyz} はxyz方向のフラックス（単位面積を単位時間に通過する流量）

ダルシー式と連続の式を組み合わせると、（定常状態の）地下水流動方程式が導かれる

この式を h （水理水頭）について解くと地下水流動系の特徴が顕わになるのだ！



ダルシー式

$$q = -K \frac{dh}{d\ell}$$

$$q_x = -K \frac{\partial h}{\partial x} \quad q_y = -K \frac{\partial h}{\partial y} \quad q_z = -K \frac{\partial h}{\partial z}$$

流量は動水勾配に比例する

連続の式

入る量と出る量の和はゼロ

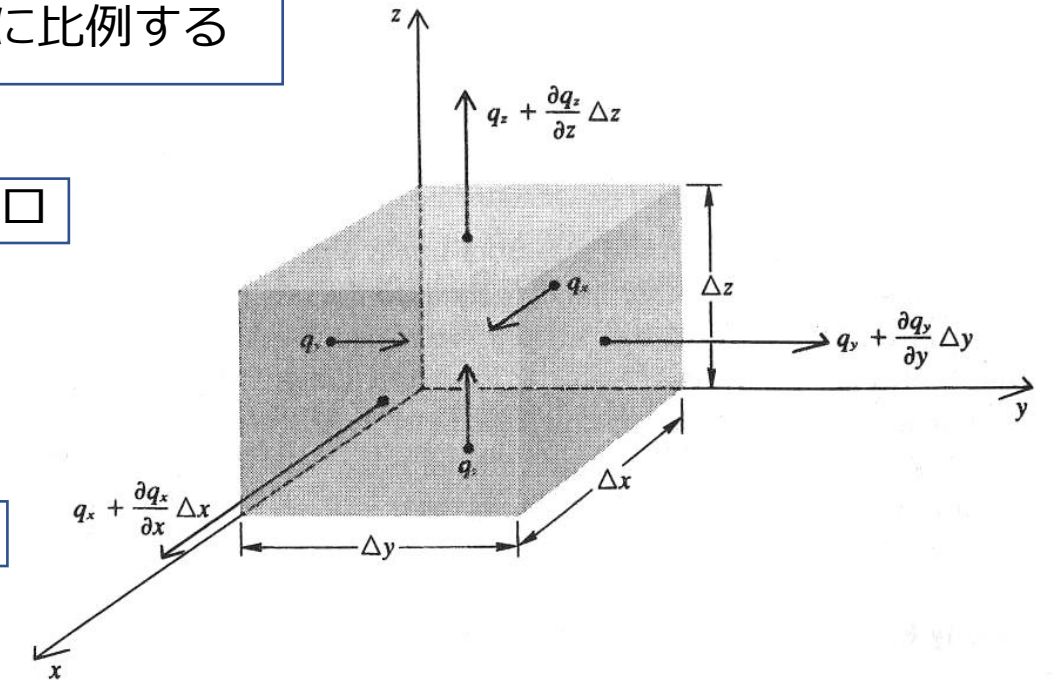
$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = 0$$

組み合わせるとこうなる！

地下水流動方程式

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-K \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-K \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad \rightarrow \text{ラプラスの方程式}$$



地下水の運動

- ダルシー式
- 連続の式

地下水の流れが定常、
すなわち時間によって
流れが変化しない場合

組み合わせると、地下水流動方程式

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-K \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-K \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

水頭の時間変化がなくなった状態→定常状態→ラプラスの方程式

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

○ラプラスの方程式を解けば、等方・均質な媒体（帯水層）における定常状態の地下水のポテンシャル分布がわかる

○ポテンシャル（水理水頭）分布がわかれば流線がわかる

時間によって流れが変化
する場合は非定常とい
います

非定常の場合は右辺に
時間変化を表す項が入
りますが、それは上級
コースで！

ラプラスの式は差分法
を使って簡単に解くこ
とができます。
⇒アプリを作ること
はできないかなあ



Toth (1963) の計算

●地下は見えないので数学的に地下水の流れを計算

ラプラスの式を解析的に解いた→地下水学の古典

地下水は見えない！

Tothが最初にラプラスの方程式を解析的に解いた

矩形の帯水層を仮定し、左右下面は不透水境界、上面を地下水面として地下水面標高（すなわち位置水頭＝全水頭）を与えた

帯水層は等方均質、ひとつの透水係数を持つと仮定

それでも、多様な地下水流動のあり方を示すことができた



タイガー計算機

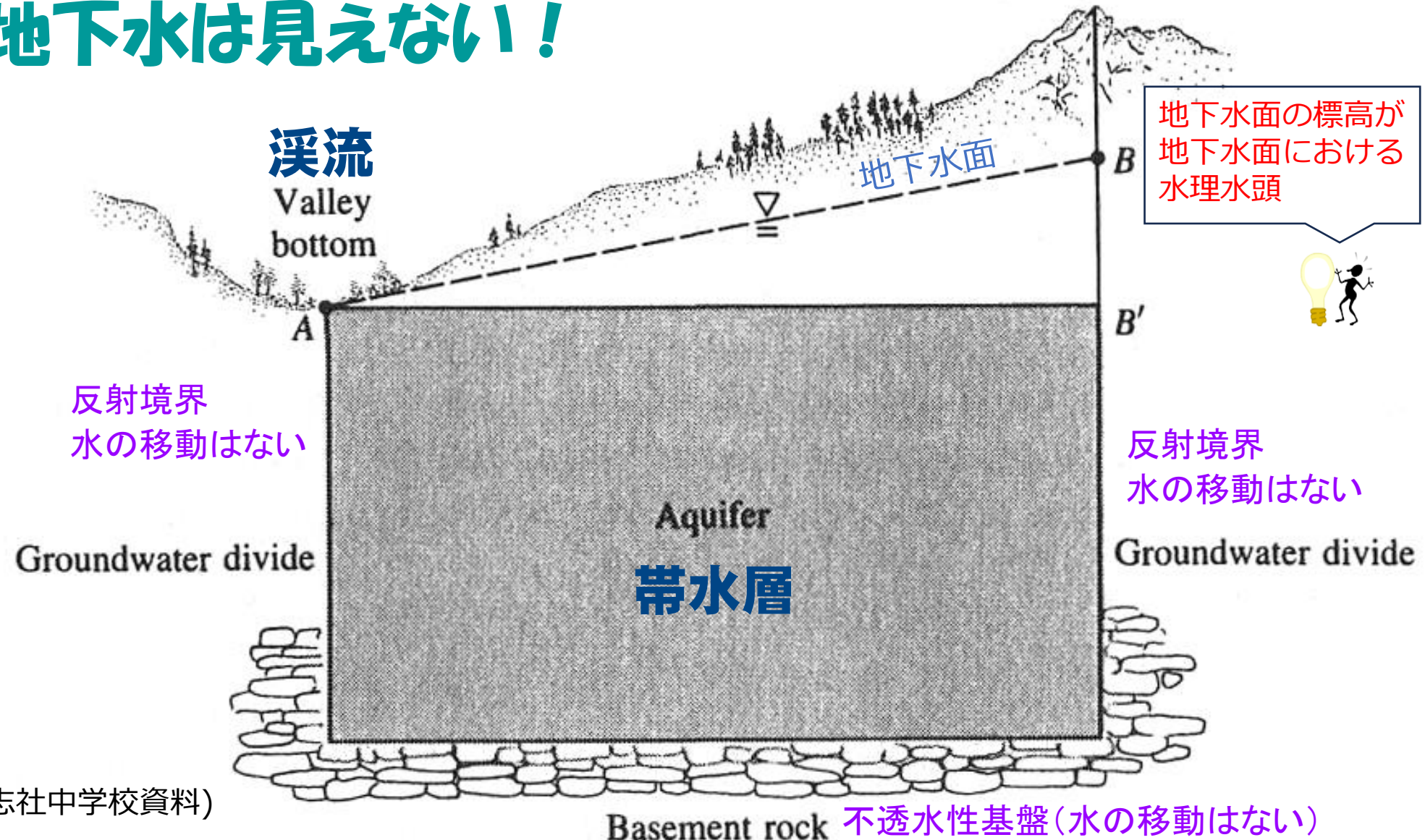
(同志社中学校資料)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

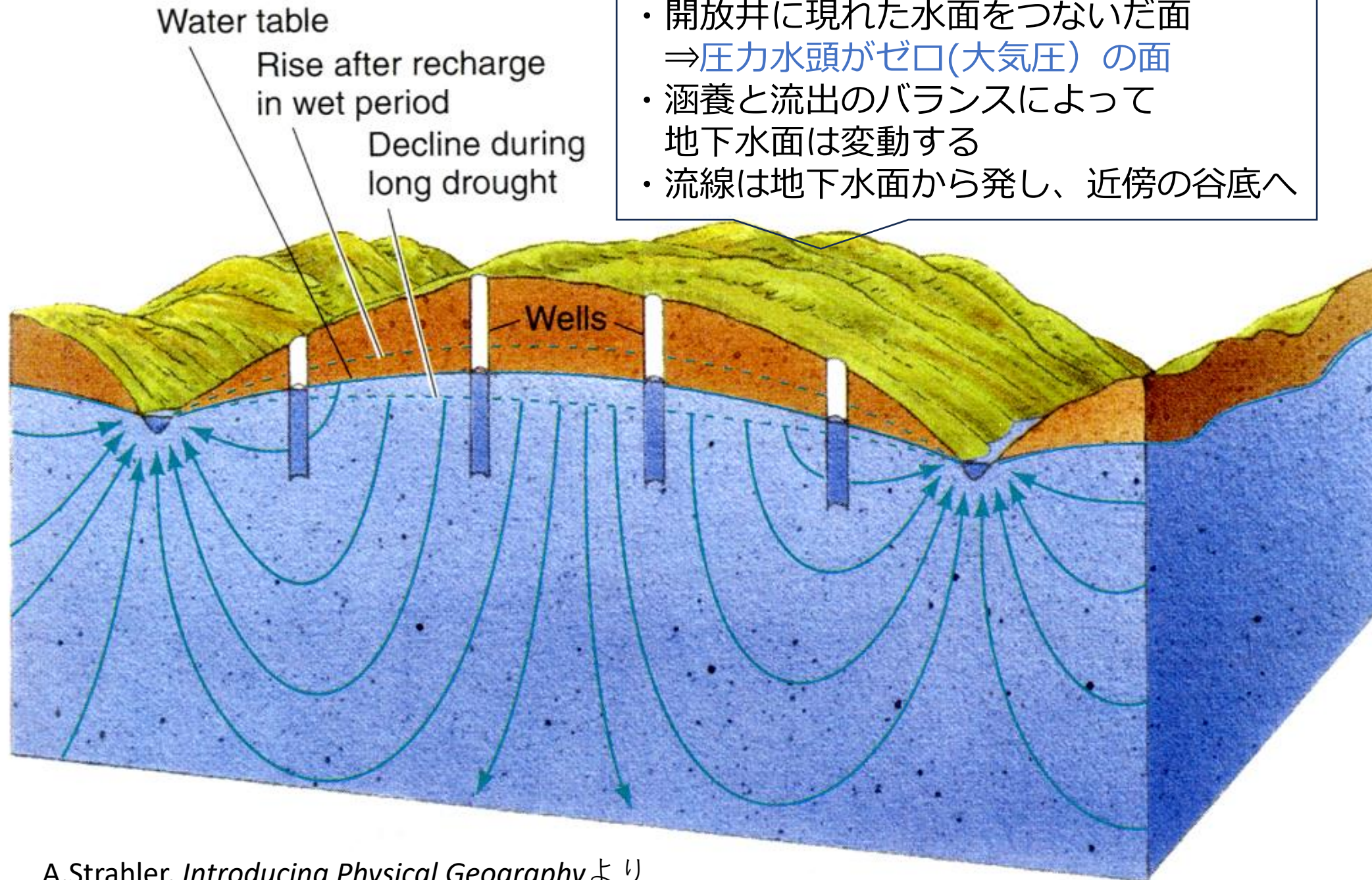


尾根

Topographic high



地下水面とは何か？



- ・ 開放井に現れた水面をつないだ面
⇒ 圧力水頭がゼロ(大気圧)の面
- ・ 涵養と流出のバランスによって地下水面は変動する
- ・ 流線は地下水面から発し、近傍の谷底へ

地下水面は不飽和帯と飽和帯の境界（毛管水帯と地下水体の境界）

圧力水頭がゼロ（大気圧）の面として定義できる

浸透（浸潤）・降下浸透により飽和帯(地下水)に付加される地中水と、地下水面から流動していく地下水の量がバランスする面（動的平衡）

水収支の変動によって、地下水面の位置も変動する



Tothの計算結果を見てみよう

左端に大河川、右端が流域界となっている波丘地を仮定

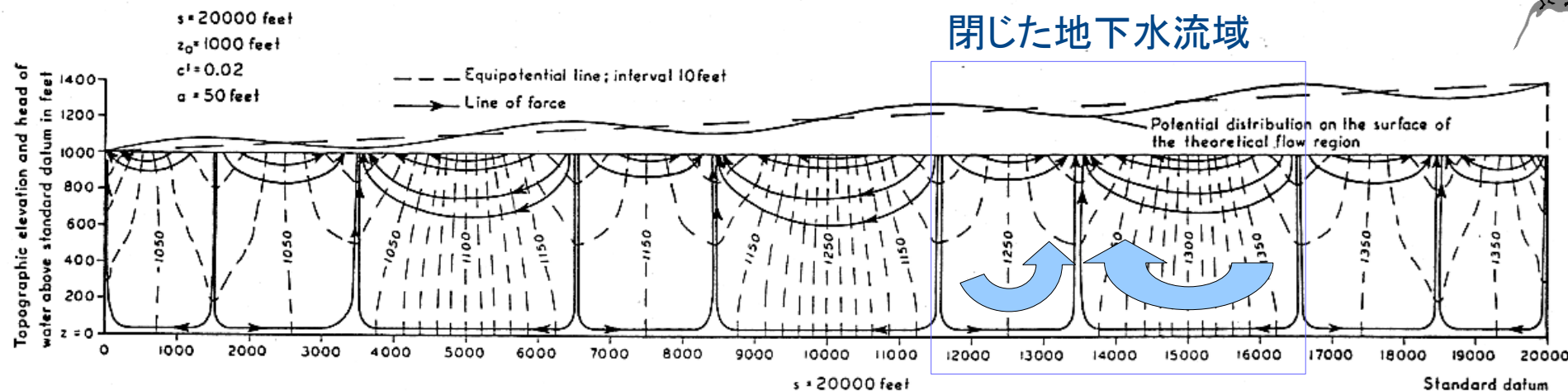


Fig. 2a. Potential distribution and flow pattern as obtained by equation 6.

上面の地下水面標高としてサインカーブを与えた

カーブの凸部は尾根、凹部は低地を表す（⇒想像しよう！）

すると、隣り合う尾根と低地の間に閉じた地下水流動系が現れた

地下水面の勾配を大きくすると、流域最高所から最低所に向かう地下水流動系が閉じた地下水流動系の下部に形成された

このことの示唆することとは？



→ 流線

地域全体の勾配が大きくなるとうなるか？

注) 帯水層は等方・均質

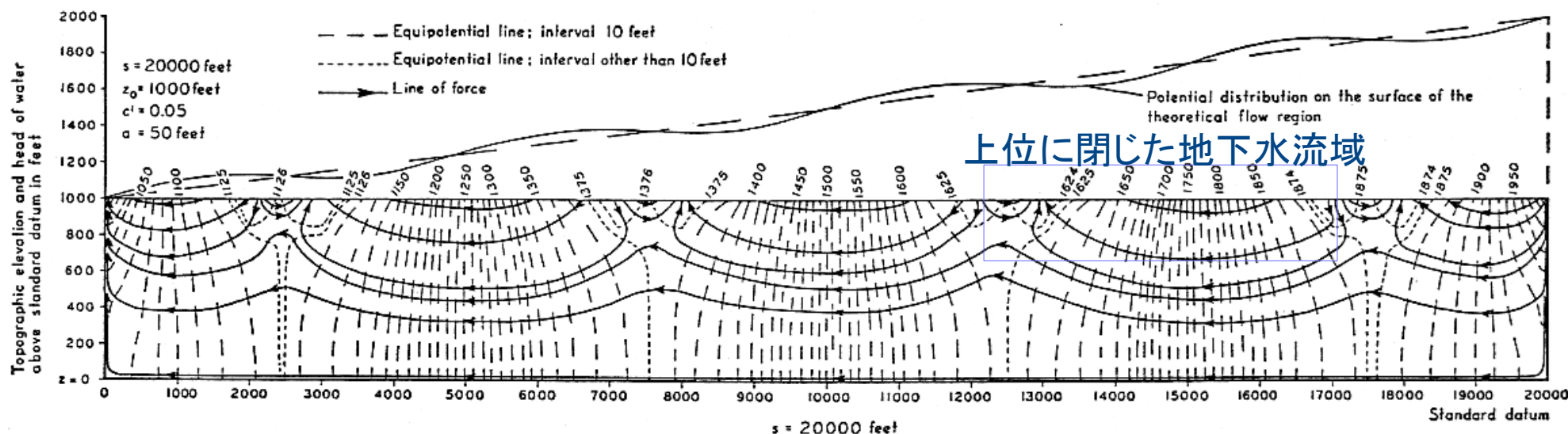


Fig. 2c. Potential distribution and flow pattern as obtained by equation 6.

Tothは多様な境界条件のもとで計算を繰り返すことによって、地下水流動系の概念に到達した

地下水流動系は階層構造を持つ

それは地下水面の凹凸が作り出す

帯水層が均質でも地下水の流れは複雑多様なのだ

それでも地下水流動系の概念を理解していれば、現場を観察することによって地下水の流れを推定することができるのだ！

地下水流動系は裏切らない！！



Tothが到達した地下水流動系の概念

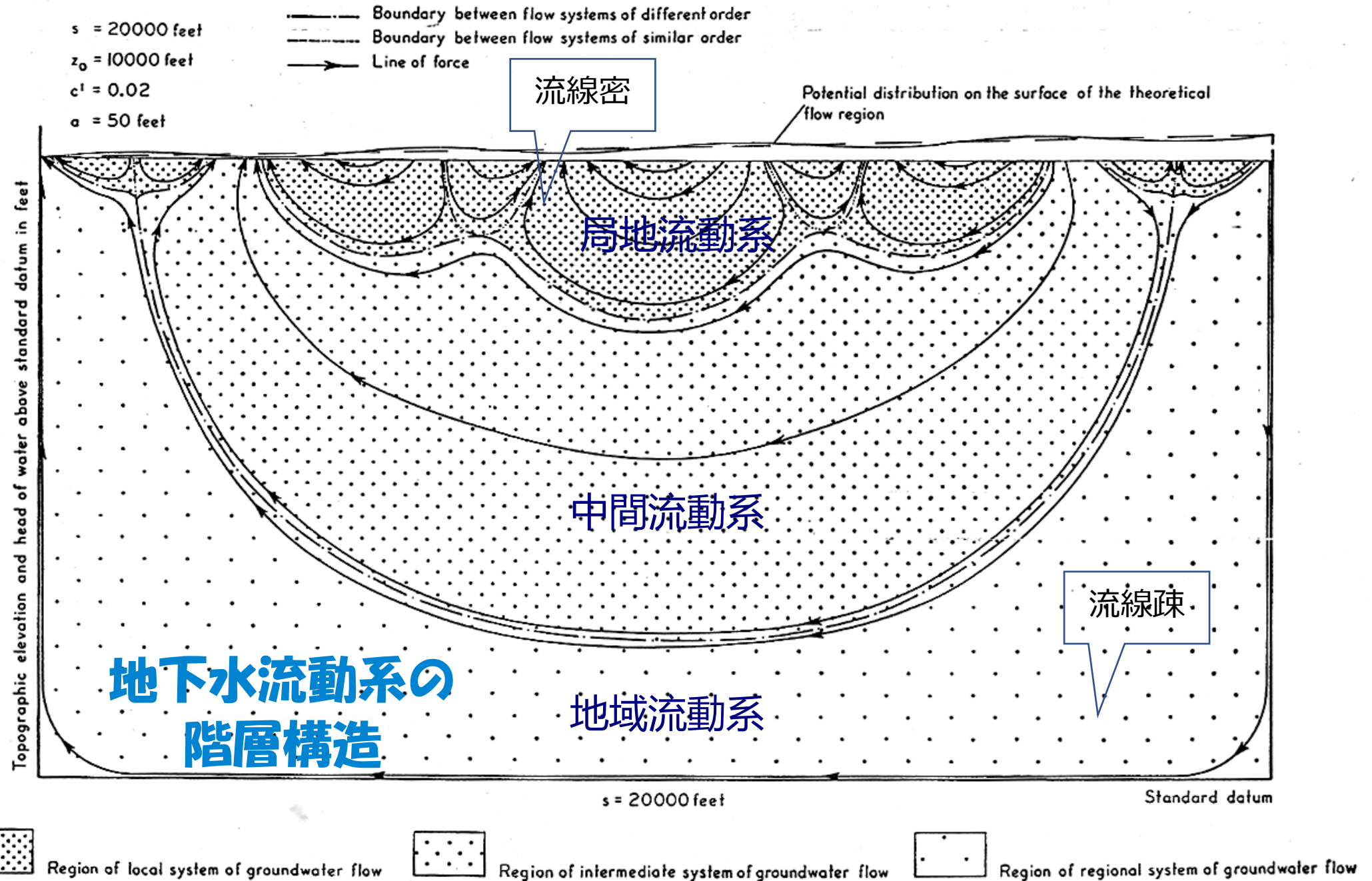
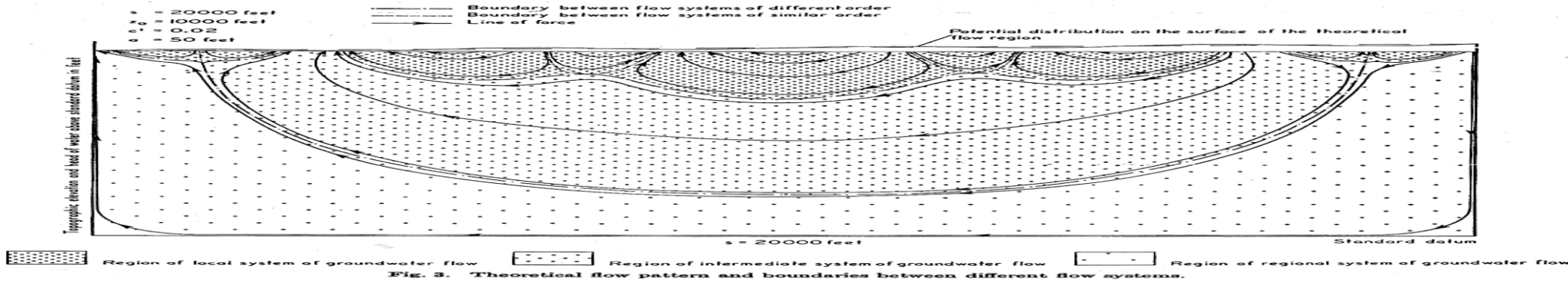


Fig. 3. Theoretical flow pattern and boundaries between different flow systems.

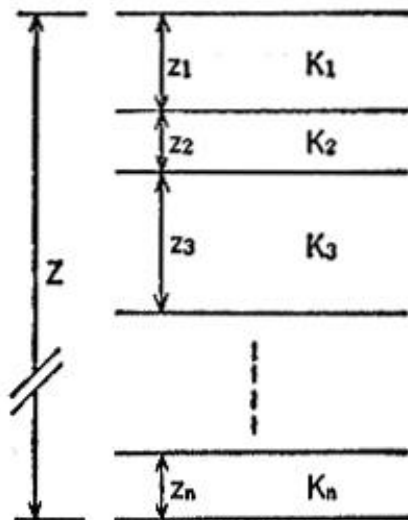
Tóthのモデルは地下水盆の深度がちょっと大きすぎるように見えますが？



砂泥互層（千葉県中央博HP）



- 等方均質帯水層に対する結果
- 実際の帯水層は透水係数の異方性(anisotropy)を持つ
- 垂直方向の透水係数は通常水平方向より小さい
- これは縦軸を圧縮することと同じ



$$K_x = \frac{K_1 z_1 + K_2 z_2 + \dots + K_n z_n}{Z}$$

水平方向平均
(算術平均)

>

$$K_z = \frac{Z}{\frac{z_1}{K_1} + \frac{z_2}{K_2} + \dots + \frac{z_n}{K_n}}$$

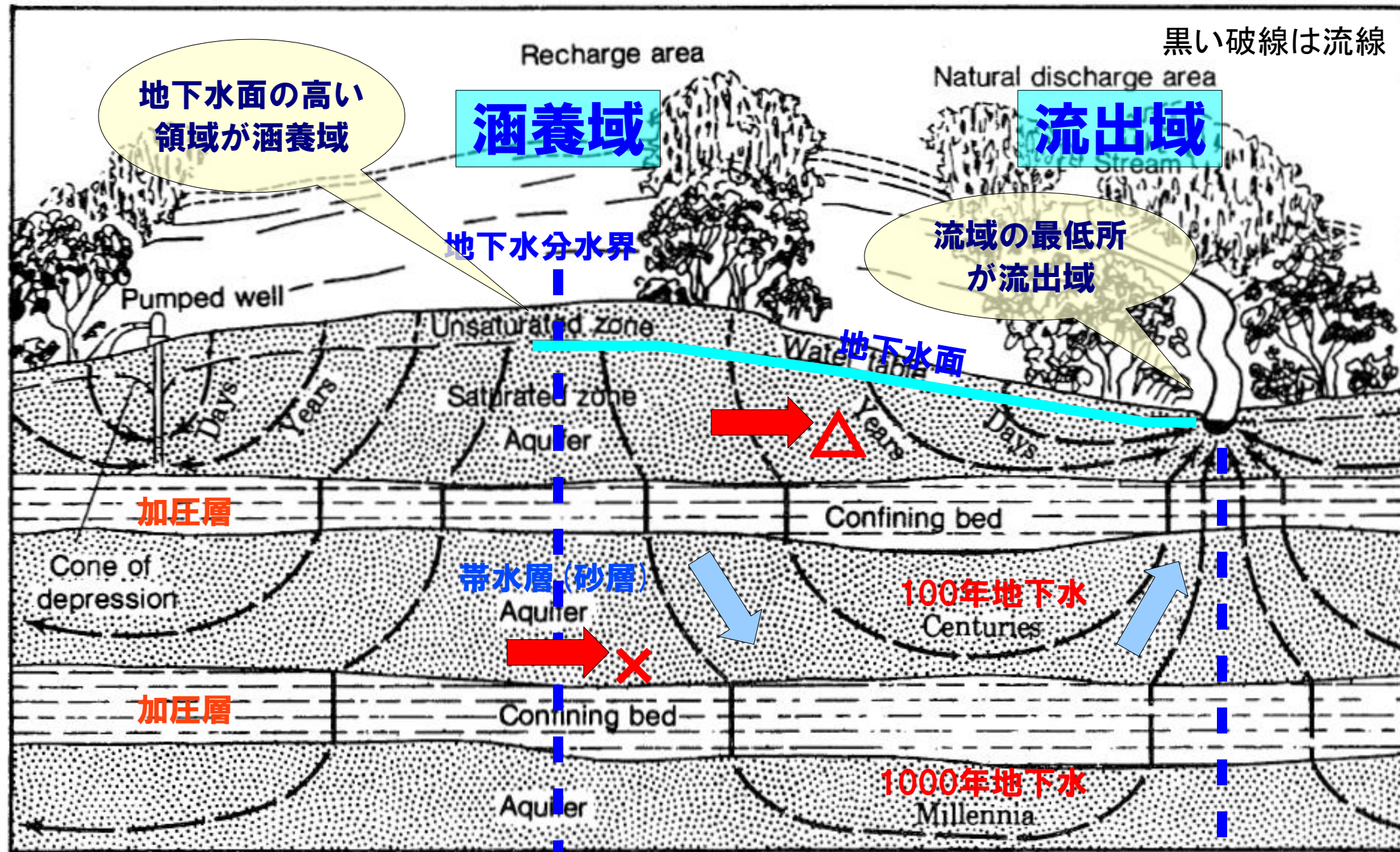
垂直方向平均
(調和平均)

Tóthの計算は解析解なので、複雑な境界条件は設定できなかったのですね。

水流によって形成された地層は砂泥粒子の配列に異方性があります！



河川近傍の地下水の流れでも地下水流動系は存在！



Toth(1995)に掲載された河川近傍の地下水の流れ

Tothはカナダの人なので、ローレンタイド氷床が後退した後に形成された波丘地が念頭にあったと思います

地形の高まりは地下水面の高まり、そこで涵養された地下水が地下をめぐり、溪流に流出します

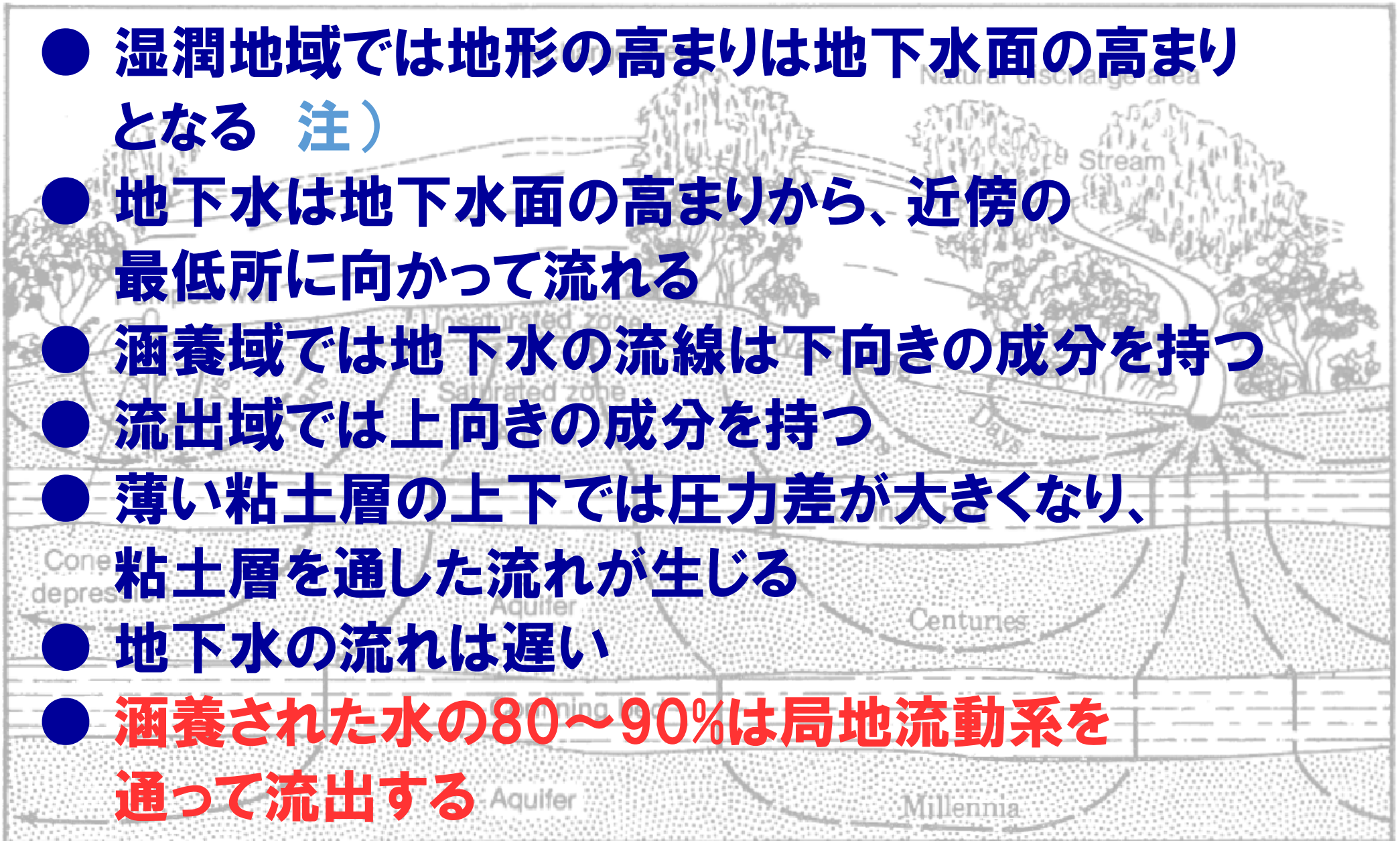
加圧層を通過する地下水、地下水の年齢に注目！

水はポテンシャル（高さ+圧力）の低きにつく

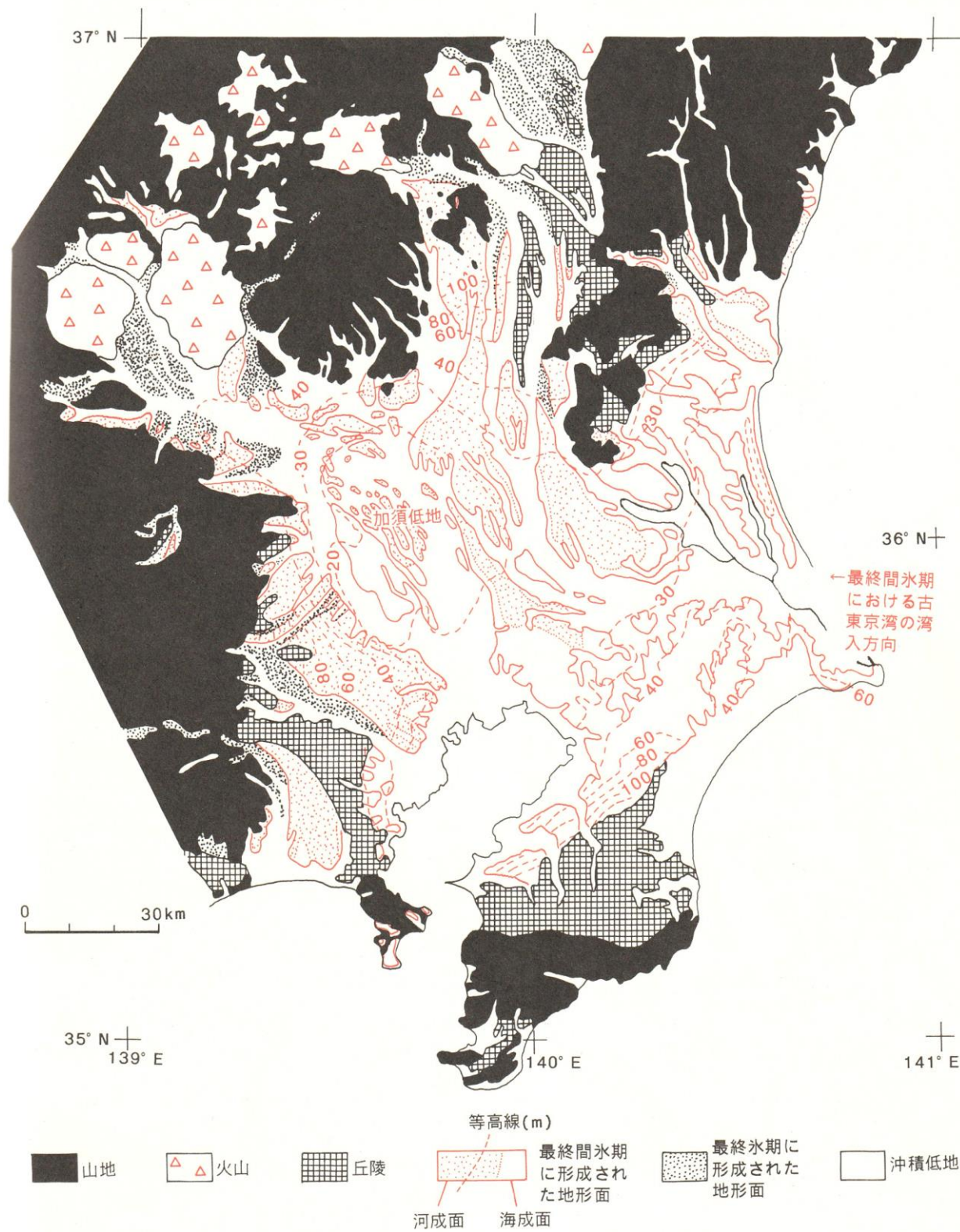
(Tóth, 1995)



Tothの演繹的な研究から明らかになったこと

- 
- 湿潤地域では地形の高まりは地下水面の高まりとなる 注)
 - 地下水は地下水面の高まりから、近傍の最低所に向かって流れる
 - 涵養域では地下水の流線は下向きの成分を持つ
 - 流出域では上向きの成分を持つ
 - 薄い粘土層の上下では圧力差が大きくなり、粘土層を通した流れが生じる
 - 地下水の流れは遅い
 - 涵養された水の80～90%は局地流動系を
通って流出する

注) 乾燥地域では過去の気候条件で形成された地下水面の勾配が維持されていることもある



涵養された水の80～90%は局地流動系を流れて流出するという...

ミクロとマクロの視点で考えよう！

- ・ 関東平野は**低地**・**台地**・**扇状地**から構成される
- ・ 関東平野（地下水盆）の地下水流動系の構造は地形に対応した階層構造
- ・ 関東平野に降った雨はどこに行く？
- ・ 周辺の扇状地と平野の地下水の関係は？
- ・ 人間活動（都市化や揚水）が地下水流動系を変えていないか？
- ・ **地質、地形、土地被覆が作り出す地下水流動系の構造を想像する力！**

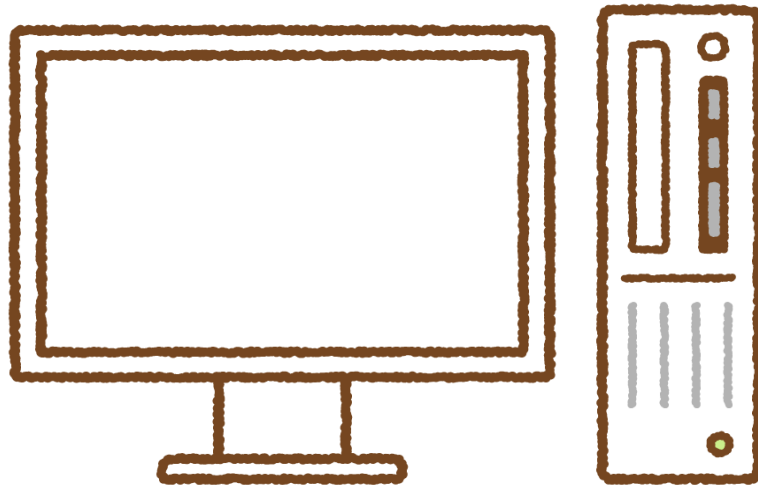
（風景のなかの自然地理、古今書院より）

Tothはもっとも単純な地下水流動方程式を解析的に解いた

Freeze & Witherspoonはコンピューターを使って数値的に解いた

そのことにより、複雑な境界条件を地下水モデルで考慮することが可能となった

これも演繹的な成果だが、地下水流動の本質について得られることは多い！



コンピューターの時代がやってきた！

Freeze and Witherspoon(1966): Theoretical analysis of regional groundwater flow: 1. Analytical and numerical solutions to the mathematical model. *Water Resour. Res.*, **2**, 641–656.

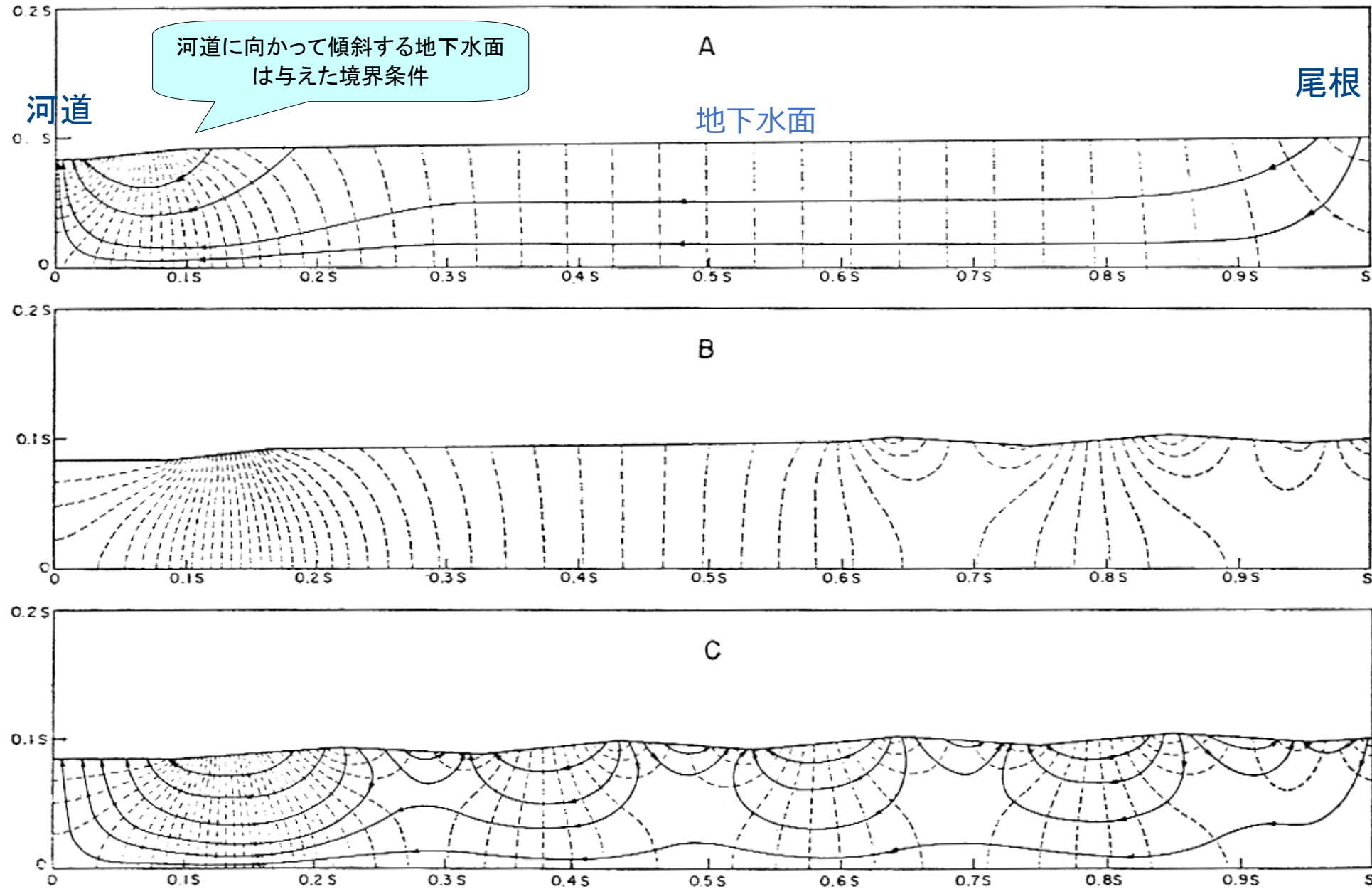
Freeze and Witherspoon(1967): Theoretical analysis of regional groundwater flow: 2. Effect of water-table configuration and subsurface permeability variation. *Water Resour. Res.*, **3**, 623–634.

Freeze and Witherspoon(1968): Theoretical analysis of regional groundwater flow: 3. Quantitative interpretation. *Water Resour. Res.*, **4**, 581–590.

よい論文はプログラムを再現できる論文。初歩的な差分法の知識があれば自分でプログラムを書き、地下水流動系の理解を深めることができるぞ。



地下水面形状の効果—等方・均質帯水層における—



この計算では地下水面標高を境界条件として与えている

実際の地下水面の位置は、地下水面への涵養と、地下水面からの流出の動的平衡によって決まることに注意

本来は地下水面における水収支に基づいて地下水面の位置を決めなければならないが、初期の成果ということでご容赦！

なお、地下水面におけるフラックスはダルシーの法則で計算できる



Fig. 1. Effect of water-table configuration on regional groundwater flow through homogeneous isotropic mediums.



考えてみよう！

地下に透水性の地層（例えば、溶岩層）が埋没している場合の流線、あるいは動水勾配はどうなるか

地下水の流動量はどの帯水層が大きくなるか
⇒ダルシーの法則に基づいて考えてみよう

地下水流動は透水性の高い層が主体となる



透水係数の異なる水平層の累重の効果

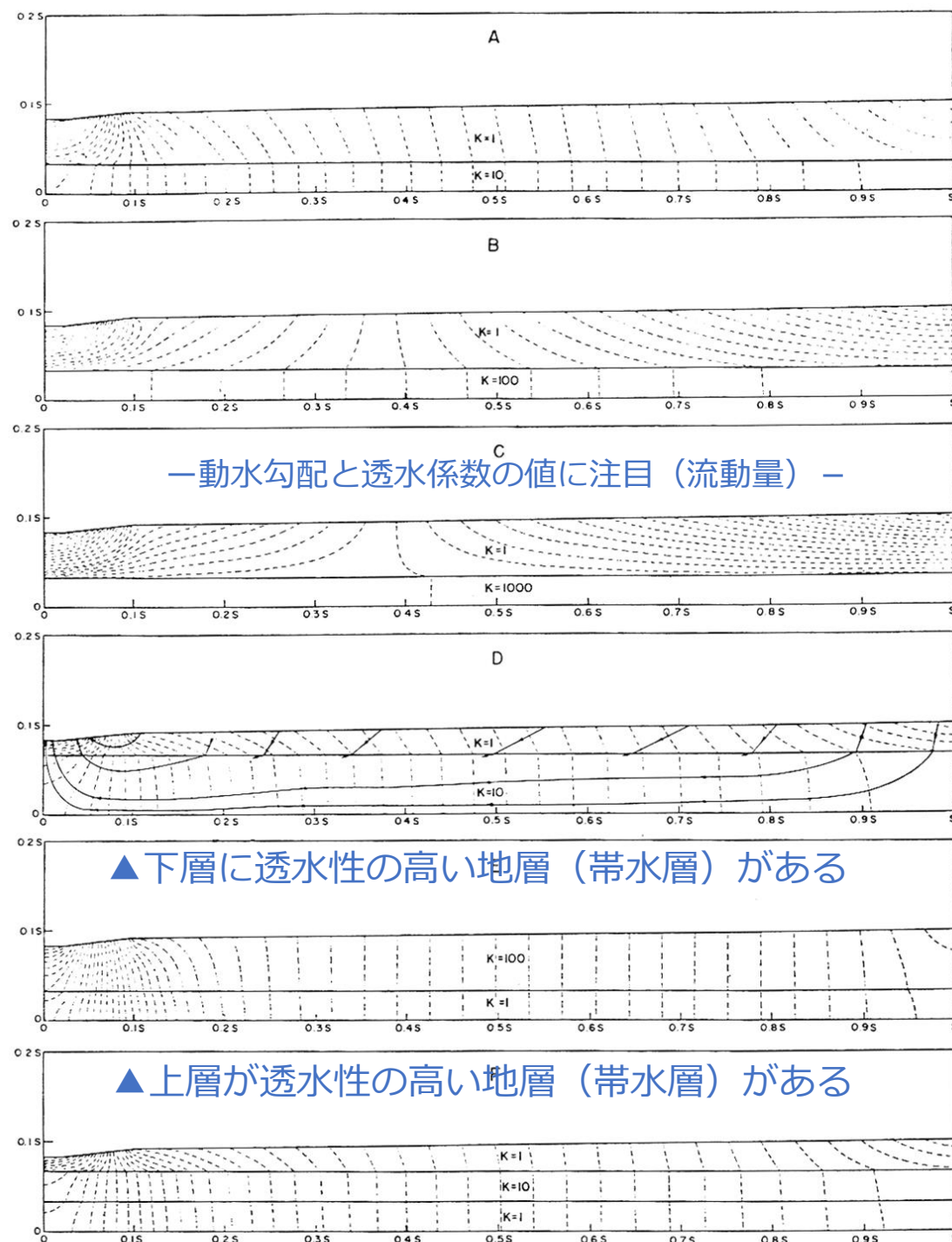


Fig. 2. Regional groundwater flow through layered mediums with a simple water-table configuration.

解析解では解けない問題
も数値解なら解ける！

近藤は差分法による
簡単な数値解析で、
地下水流動系の性質を
学んだ



ハンモッキー・タレインにおける水平な透水層の効果

ハンモッキー・タレインとは北アメリカ大陸北部のローレンタイド氷床が後退した後にできた緩やかな波丘地であり、多くの先駆的な地下水流動系研究の成果を生んだ

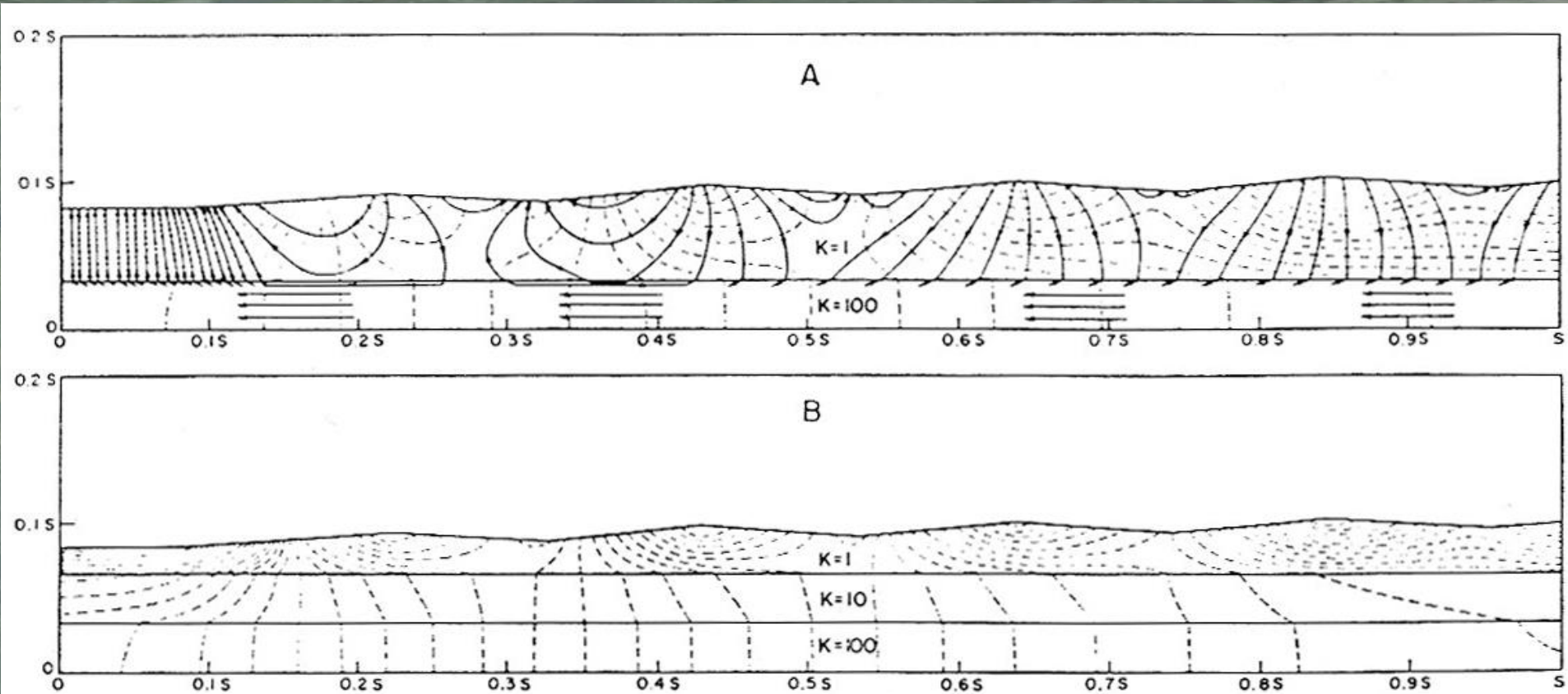


Fig. 3. Regional groundwater flow through layered media with a hummocky water-table configuration.

阿蘇火山

熊本平野

©Google

(例)熊本の砥川溶岩

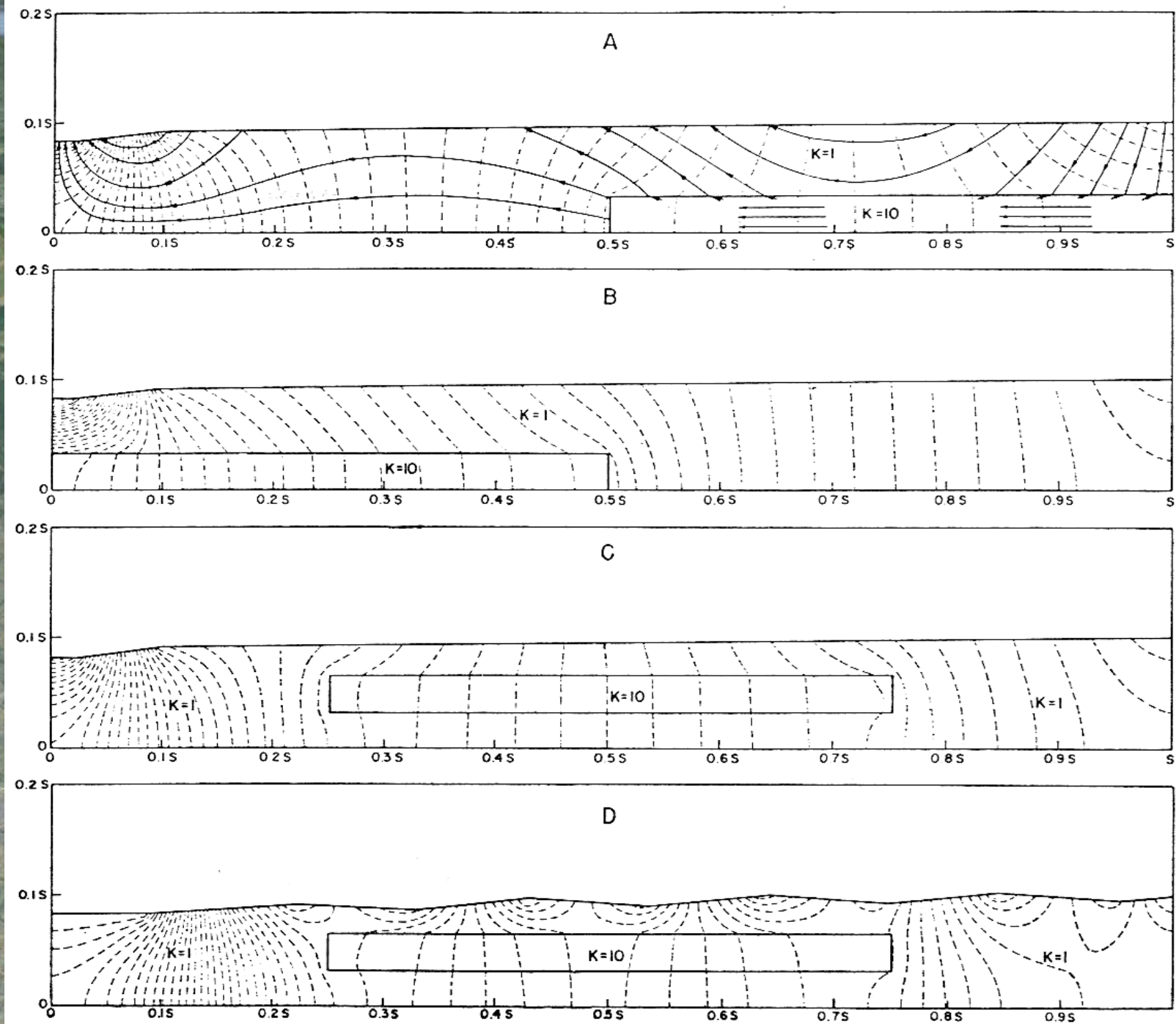
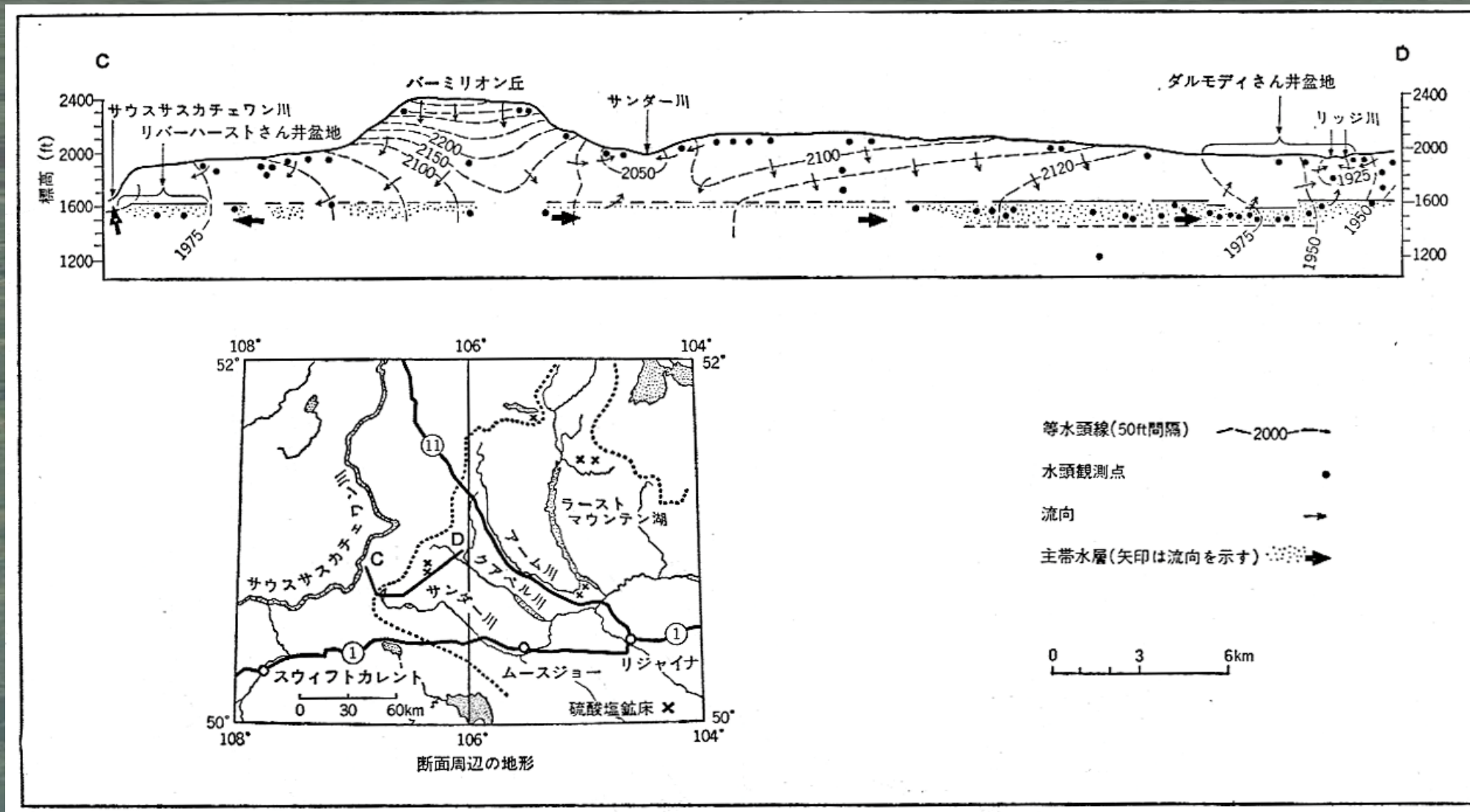


Fig. 4. Regional groundwater flow through partial layers and lenses.

地表に現れない帯水層が地下にあったら？

現実世界に地下水流動系は存在するのか



Meyboom(1967)によるカナダプレーリーの地下水流動系

- 涵養域はどこか 湿潤地域における地下水面の形状を決める地形の重要性
- 地下に水平な透水層がある場合の地下水流動系

傾斜する地層の効果 千葉県下総層群、上総層群の単斜構造

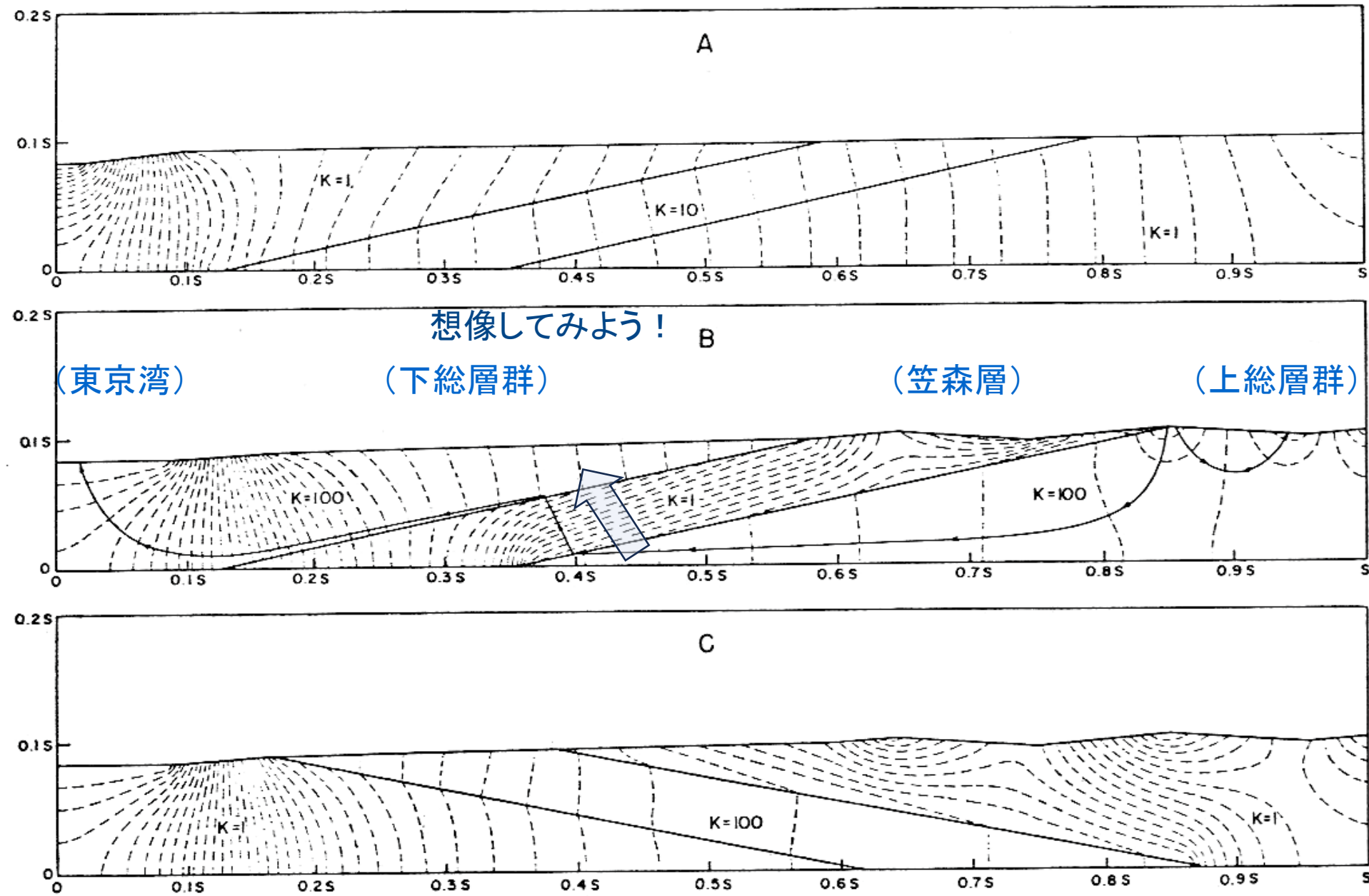
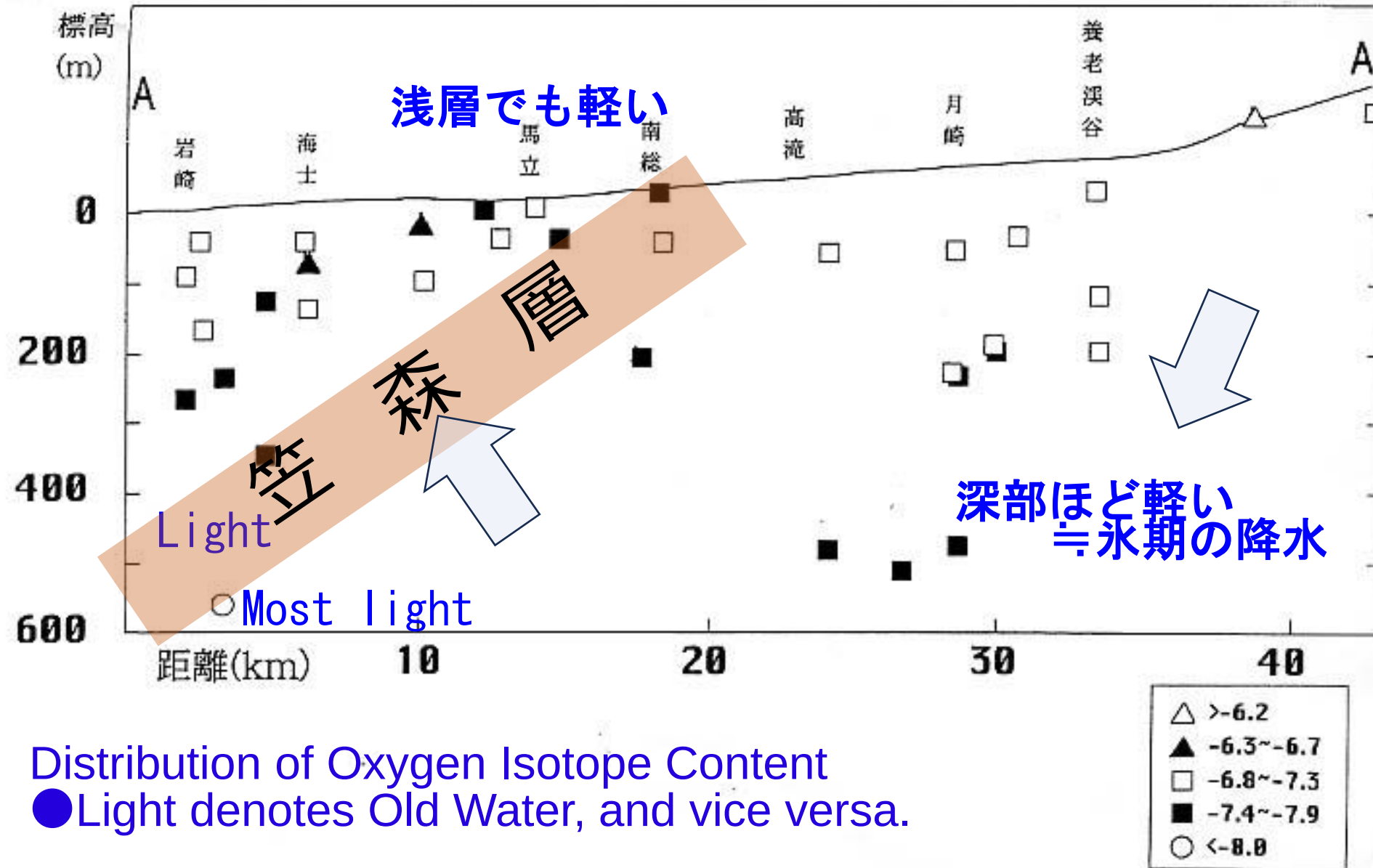


Fig. 5. Regional groundwater flow in regions of sloping stratigraphy.

^{18}O content 軽い→寒冷期に涵養→古い水

Tokyo Bay

Upper stream of the Yoro River

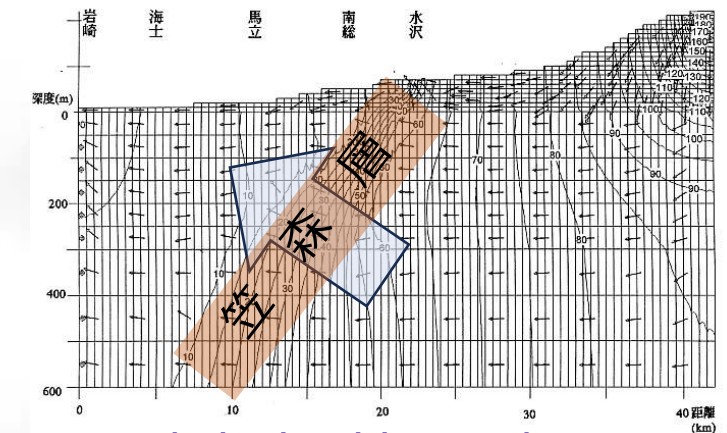


Distribution of Oxygen Isotope Content
●Light denotes Old Water, and vice versa.

Konno(1995)



(笠森観音公式HPから)



(Miyakoshi, 1999)

笠森層（難透水層）を上向きに通過する流れは安定同位体（紺野、1995）や数値モデル（宮越、1999）で再現されている

千葉大学故佐倉研究室
における卒論・修論



地下水流動系の要点 – 地下水流動系を決める二つの要因 –

地形要因 ⇒ Tothの地下水流動系の概念で地下水流動の概観を掴む

- ・ 広域の地下水流動を概観する際には、地下水の流れを三次元的に捉える
- ・ 基本的な地下水流動系の構造は地形、すなわち地下水面の形状（地下水を駆動するポテンシャルを表す）から考える

地質要因 ⇒ 地下水流動系を修飾する要因を考える

- ・ 建設工事等の局所的な地下水流動を開析する際には地質構造の不均質性が、地下水流動に大きく影響する

(新藤・石川、地下水学会誌)

Table 1 The dominating factors on groundwater flow systems in the Dejima area.

地下水流動のスケール		局 所 的	局 地 的	地 域 的
ディメンジョン		$10^1 \sim 10^2 \text{ m}^2$		$10^4 \sim 10^6 \text{ m}^2$
自然的要因	地質要因	地質要因 堆 積 相 (出島台地の場合、下位から上位へ、大きくは浅海域から陸域にかわる古環境下で形成され、それに対応した堆積相を示す。)		地形要因 堆 積 域 (出島台地の場合、東部、西部、北部、南部)の4つぐらいに区分される。
	地形要因	部 分 地 形 (出島台地の場合、南北方向にみて、台地中央部の分水界、谷地田排水域、及び上記2地区の中間部の3つぐらいに区分される。		1 ~ 2 次 谷 流 域 (出島台地の場合、一ノ瀬川、菱木川あるいは霞ヶ浦の各低地のいずれかの一部と台地中央部の地形的分水界を含む一流域のスケール)

(堆積構造)

(砂泥互層)

(台地・低地系)

注) 新藤静夫の地下水四方山話 (地盤環境エンジニアリング株式会社) に集大成あり

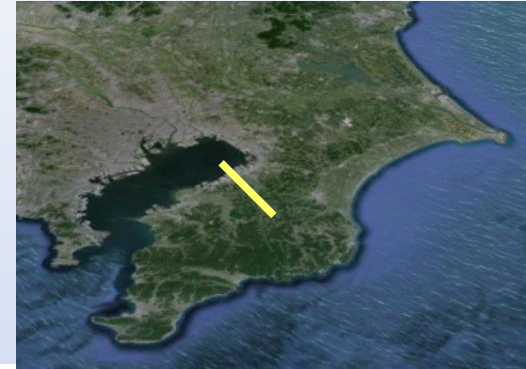
<http://www.jkeng.co.jp/column.html>

水理水頭の分布を地形・地質からみる

大きなスケール 地形をみる

小さなスケール 地質をみる

注) 三次元的にみることを忘れずに!



Q: 単斜構造を呈する砂泥互層において、下位の帯水層の上流側の露頭付近で地下水汚染が発生したら、影響は下流の層準が異なる帯水層に及ぶか?

地下水流動系の概念と、Hydraulic continuityの考え方を思い出してください。

影響が及ぶ可能性はある。ただし、**地域流動系**では時間はかかる。

むしろ、**局地流動系**への影響が大きいだろう。

ここから先は問題の人的側面



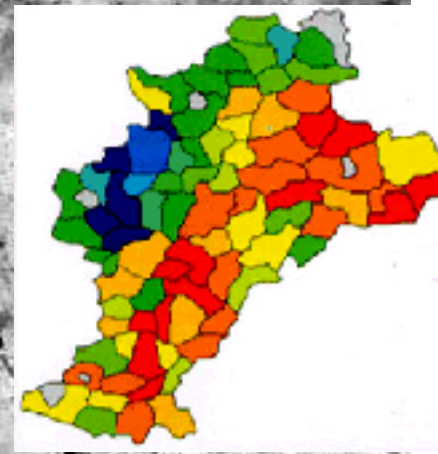
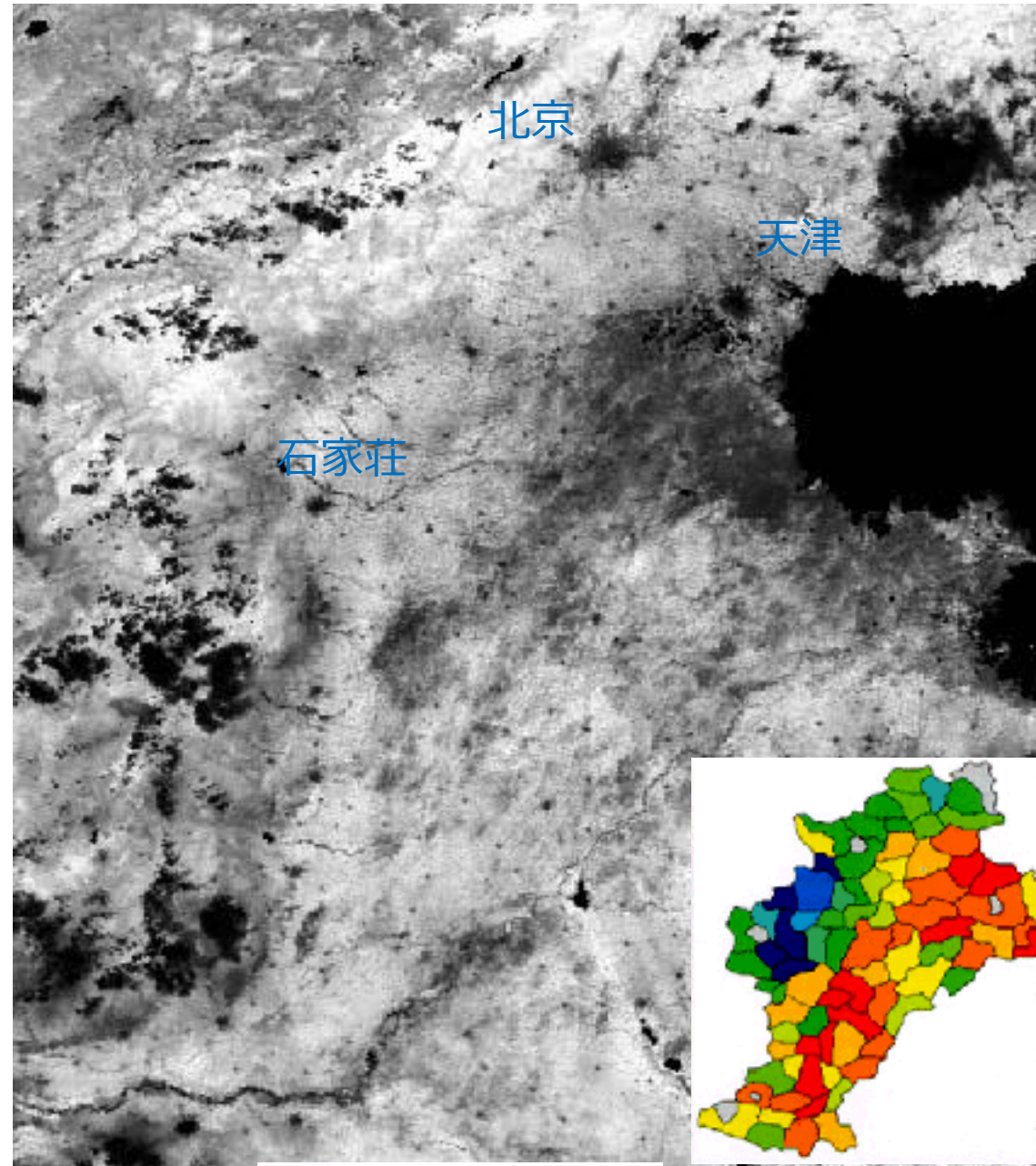
【閑話休題】1997年8月11日中国河北平原の植生指標画像

人工衛星で計測できる植生指標から、地表に植物がどれだけあるか、ここでは作物がどれだけ育っているか、判読することができる。

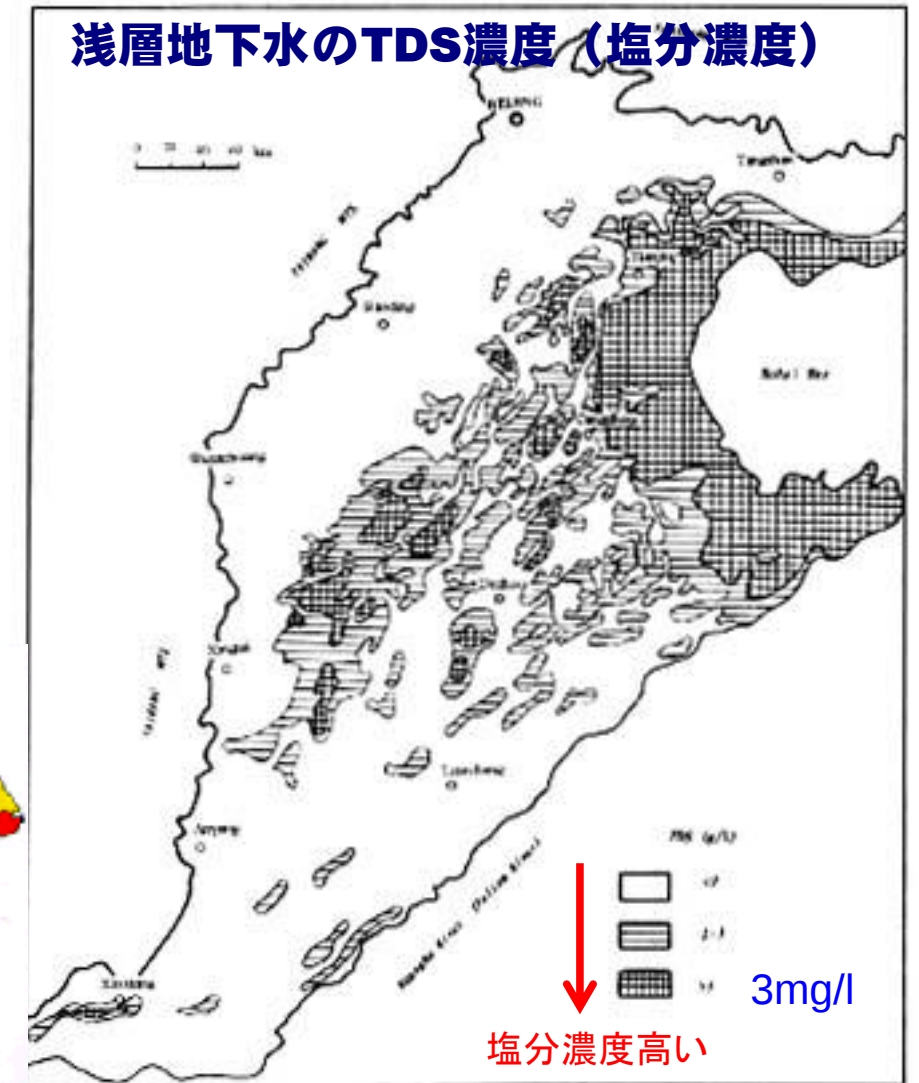
黒い部分は作物が育っていない領域を表す。なぜだろうか？

浅層地下水の塩分濃度の分布図と比較してみよう！

⇒地下水流動系に対する地形(地下水面)の効果は大きい



1992年(旱魃年)のコーン生産量(CAS)

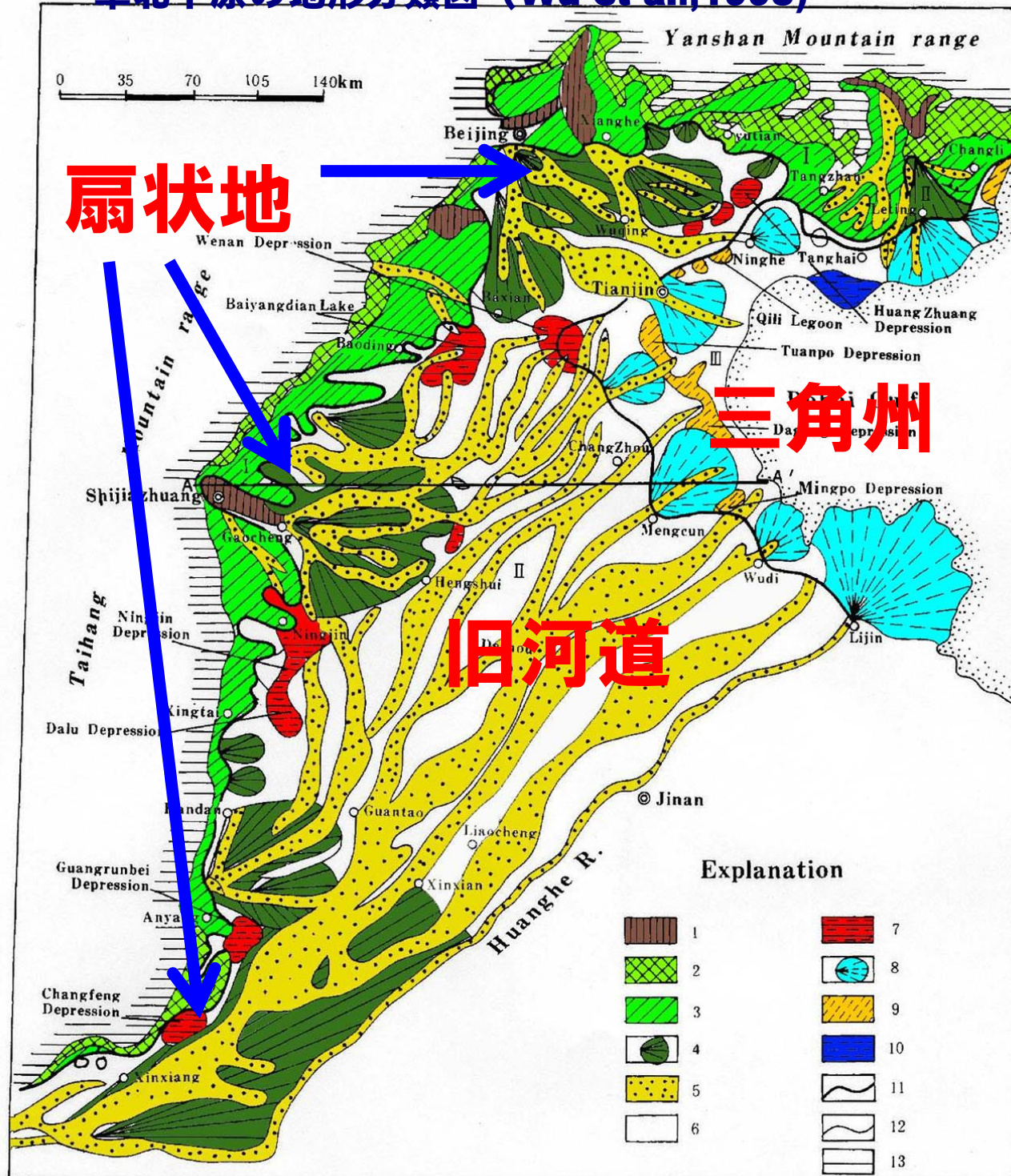


浅層地下水の塩分濃度が
穀物生産量を決めている

浅層地下水のTDS濃度(塩分濃度)

(Fei,1997)

華北平原の地形分類図 (Wu et al.,1998)



扇状地の水循環から淡水資源を利用

扇端部、旧河道の地下水流出域では塩分濃度が高くなる

①地域性で穀物生産量分布が説明できる

黄河からの取水口。済南の近く。2000年。



黄河の水は山東省では灌漑に使えるが、河北省東部では都市用水が優先され、灌漑に使えない

②政策によっても穀物生産量分布は変わる

作物（ここでは小麦とトウモロコシ）の生産量が多い地域は：

- 扇状地

生産量が少ない地域は：

- 扇状地の前縁
- 旧河道
- 三角州

個々の地形単位に対応して、どのような水循環が想定できるか、考えてみよう！



【復習】地下水流動系わかってきたでしょうか！

お水取りの水を汲む若狭井の水は若狭から来た？ **水は低きにつく**

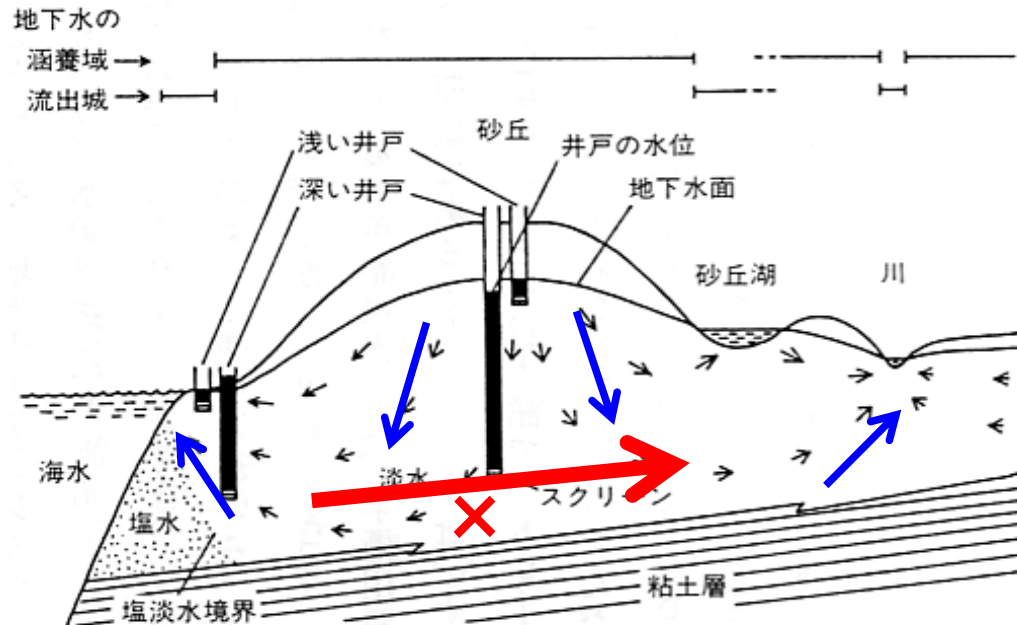
水脈？ **ムリ！**

東大寺二月堂(東大寺HPより)

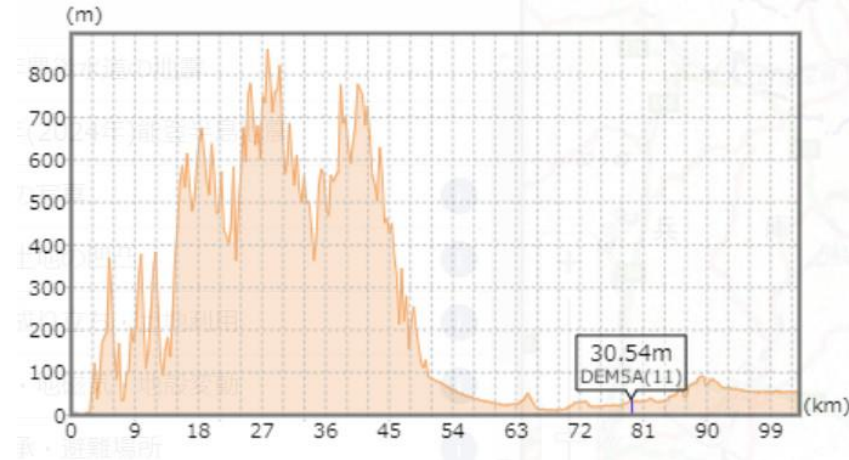


- 何が低いのか
- ポテンシャル
- ポテンシャル = 高さ + 圧力

砂丘の地下水循環を示す模式図



注) 井戸にはスクリーンから地下水が入る。涵養域では深い井戸ほど井戸の水位は低く、流出域では高くなる。(榎根勇、「地下水の世界」、NHKブックス)



上の図は地理院地図で作製した若狭湾－奈良盆地の地形断面図

若狭でお水送りして、奈良で受け取るためには、丹波高地の地下水面の高まりの下を通り抜ける必要があるが...

野暮だけど...



地形を見て、地下水の流れを想像してみよう！



● Ushiku

砂泥互層の丘陵地域の地下水の流れは？
地下水はどこから来て、どこへ行くのか？

© 2008 NASA
© 2009 DigitalGlobe
Image © 2009 DigitalGlobe
ストリーミング 100%

© 2007 Google™

21°39'16" N 140° 09'26.79" E 高度 53 m

上空 2.61 km

下総台地の地下水—養老川下流域



下総台地の特徴は、東京湾(手前)に向かって緩く傾斜する未固結の砂泥互層である、ということ。

地域ごとに、地形、地質の効果を考えながら聞いてくださいね。

養老川下流域の“台地—低地系”では
どのような地下水の流れがあるか

Image NASA
© 2008 Europa Technologies
Image © 2009 Digital Earth Technology
© 2008 ZENRIN

ポインタ 35° 27'49.00" N 140° 07'10.84" E 高度 8m

ストリーミング 100%

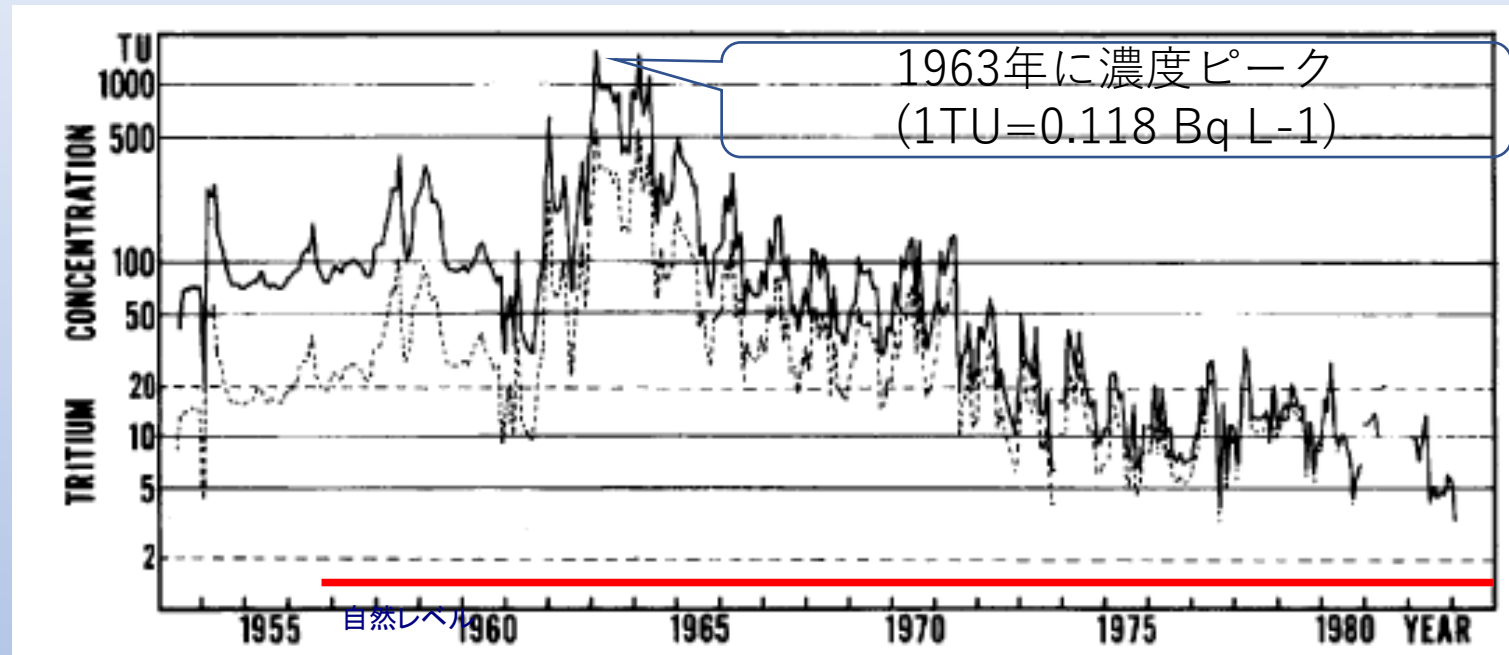
© 2007 Google™

上空 2.66 km

地下水の年齢は？ いつの雨なのか？

トリチウム(^3H)による地下水の年代測定

東京および筑波における降水のトリチウム濃度

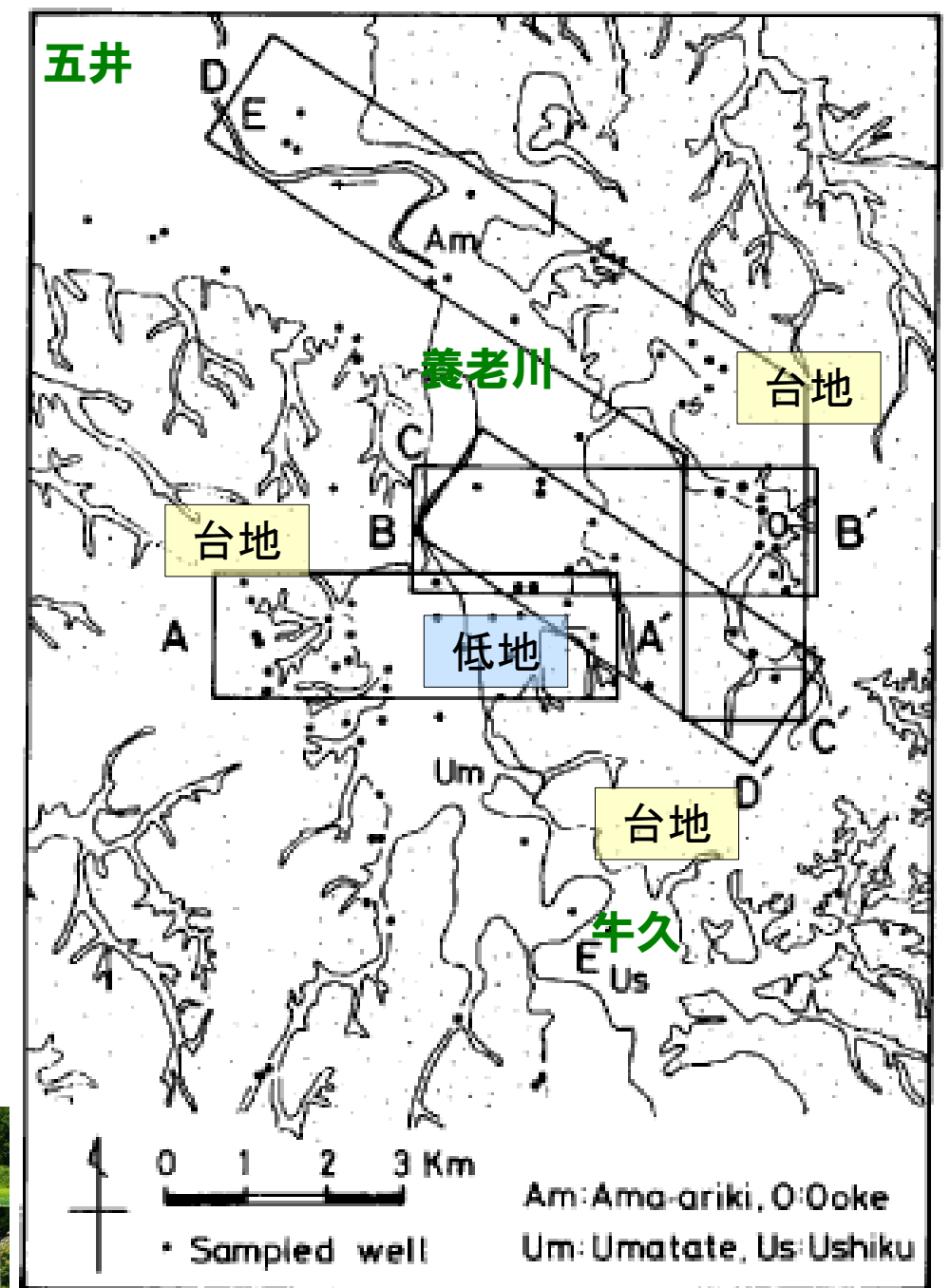


- ・1950年代に開始された水爆実験により、大量の水素の放射性同位体が大気中に放出された
- ・水分子の一部を構成し、水循環に加わった
- ・放射性なので半減期12.26年で減衰する

人為的に放出されたトリチウムを地下水中に追跡することによって、地下水の流動の実態がわかる



(小湊鉄道が走る養老川低地)



養老川下流域の台地—低地—台地の地形の連鎖

浅い地下水でもトリチウム濃度が低い場所がある
⇒これが近藤が地下水流動系を“わがこと化”した瞬間でした！

近藤の学位論文の図ですが、美しくない図でごめんなさい。

当時は製図ペンで書きましたが、今はコンピューターで描けるでしょうね。

きれいな図を描くことで、成果が伝わるということを学びました。



- 台地で涵養された地下水は低地に流出するー水は低きにつくー
- 地下水の流れはきわめて遅い この場所では、年間100m程度

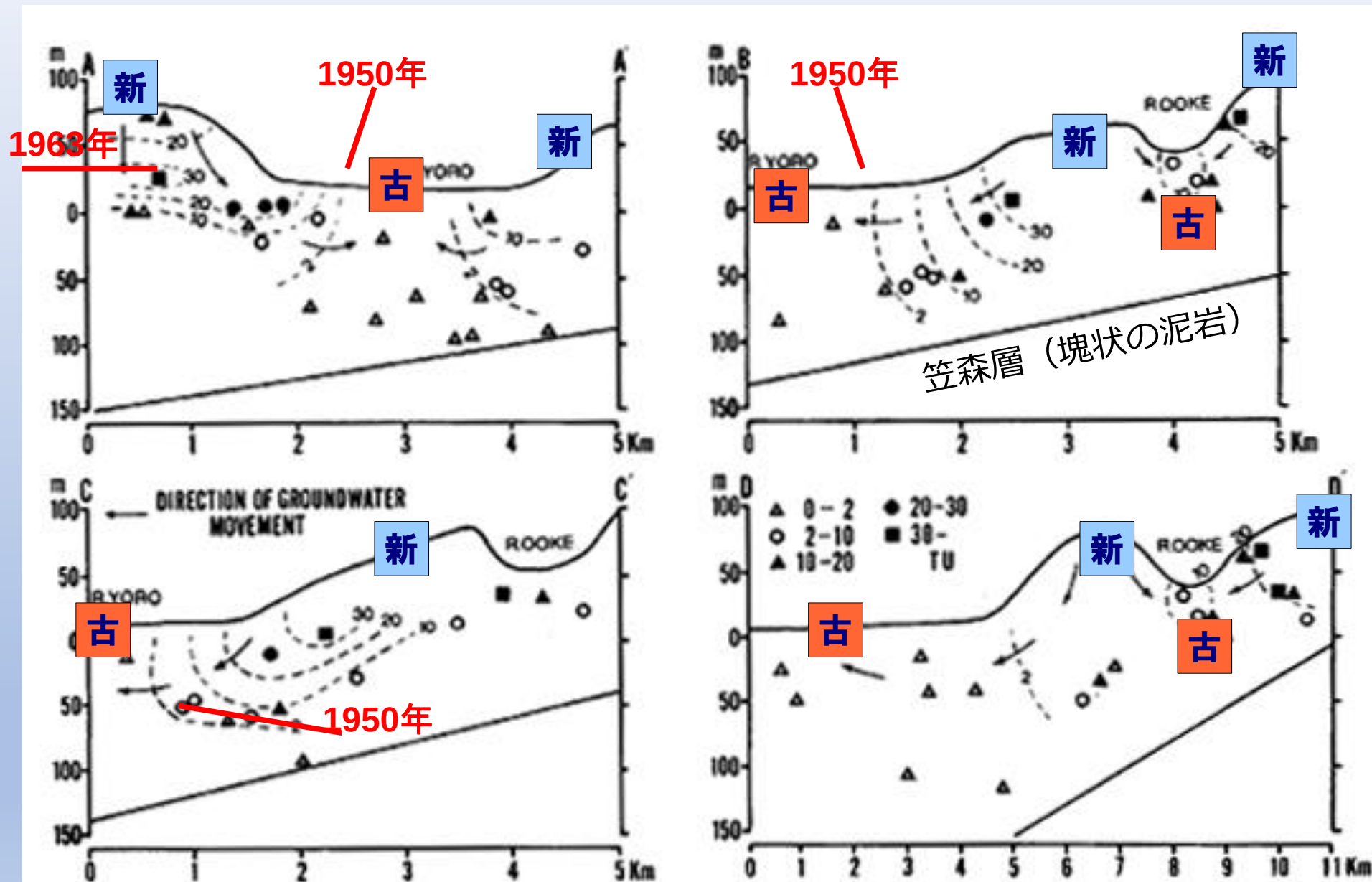


Figure 13 Estimated directions of groundwater movement based on Figure 12.

(近藤、1985)

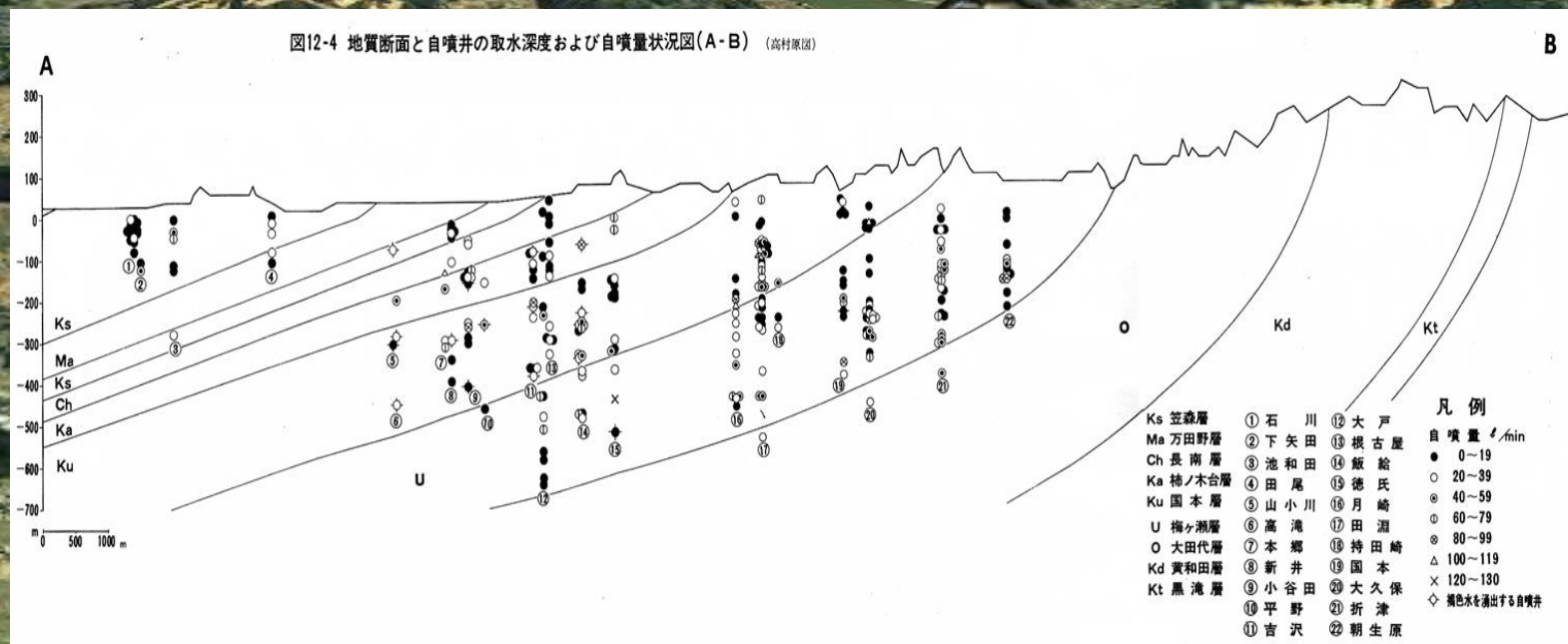


養老川上流域—養老溪谷

養老川上流域は、東京湾に向かって緩く傾斜する上総層群の砂泥互層。

上総掘りによる自噴井がたくさん残っている。

養老温泉の黒いお湯も有名。



砂泥互層の丘陵地域の地下水の流れは



© 2007 Google™

地下水の年齢－養老川流域の自噴井

注) 実際の流れは三次元であることに注意

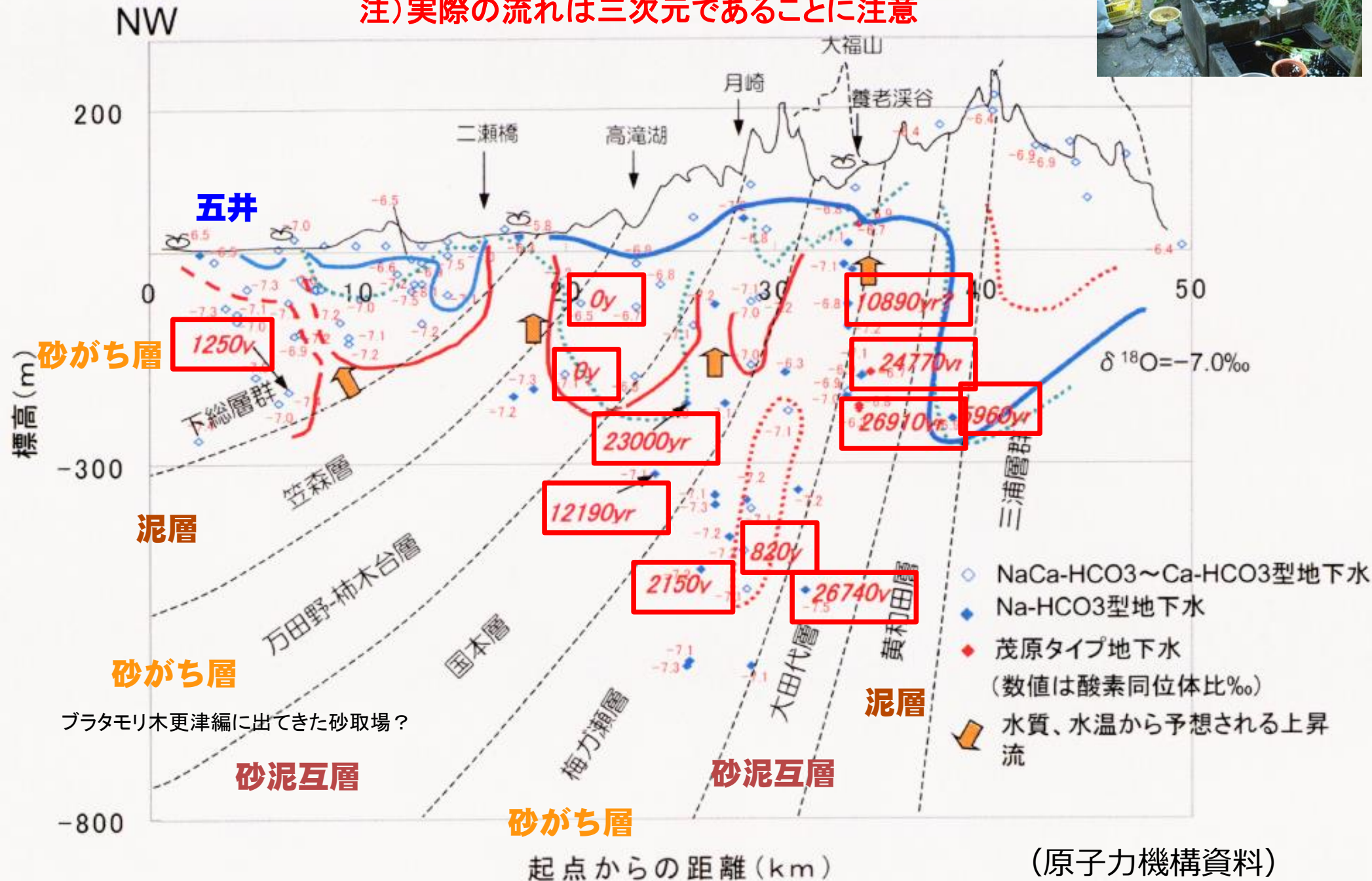


千葉県中央部、上総丘陵にたくさん分布する自噴井から湧出する地下水の年代は2万年を超えるものもあります。

すなわち、氷期の寒冷期に涵養された地下水です。

その流れも地下水流動系の考え方で説明できますが、地質構造による修飾も認められます。

例えば、砂勝ち互層では相対的に若い地下水が深部まで到達しています。



確認

地下水流動系の概念を身につけよう！

現場における地下水流動を 3 + 1次元の視点で捉えよう！

その時、地形、地質の両側面から地下水流動系を捉えることを試みよう！

様々な事例のデータベースを持とう！

〔練習問題〕 写真を見て、地下水のあり方を説明できるかな？



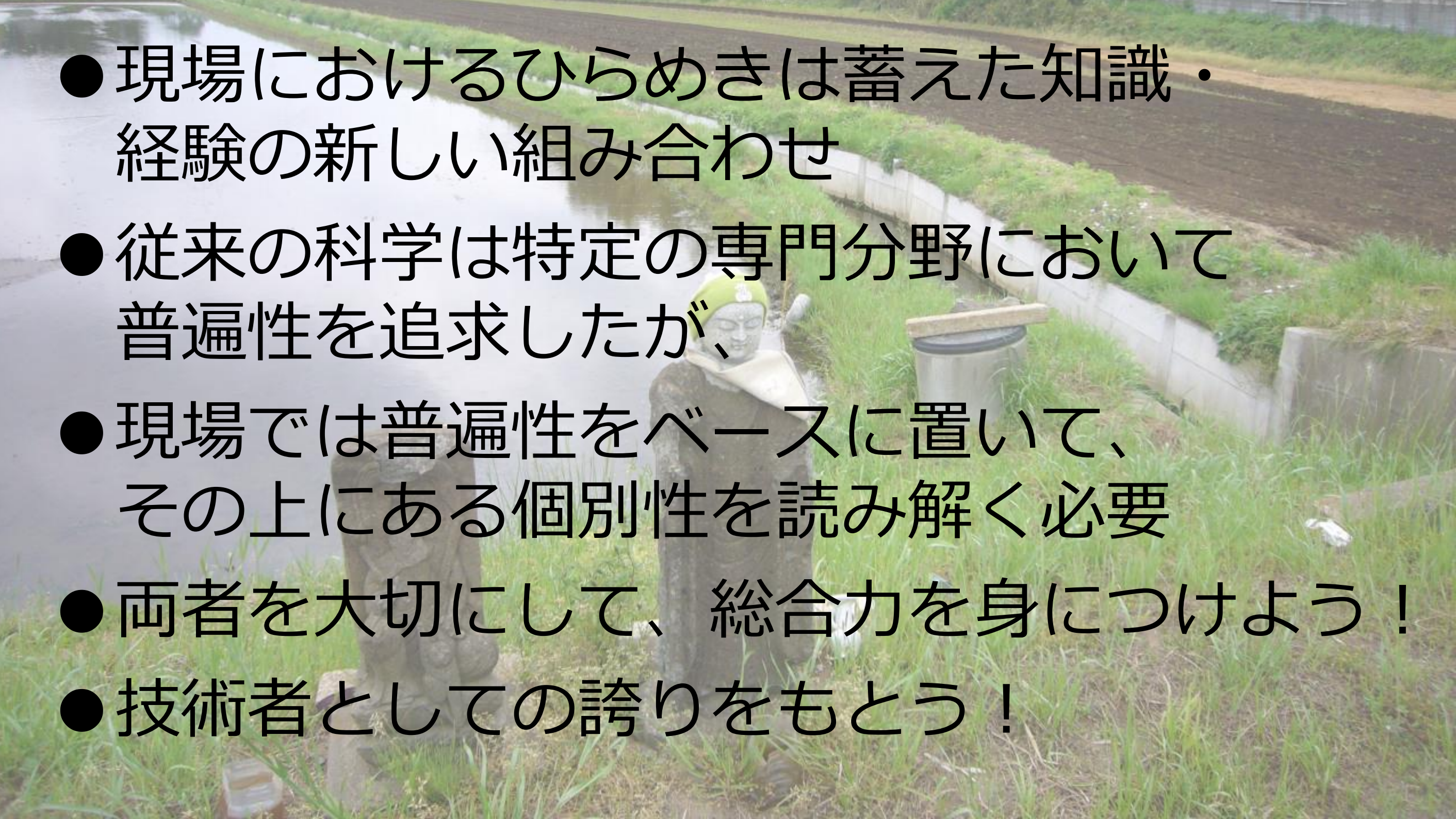
“地下水のありかた” ご理解いただけたでしょうか

- 地下水は私たちの暮らしと関係性を持つ
一要素として環境を構成している
- 今は、その関係性が忘れられているようだ
- 世の中は高度成長期を経た低成長時代だが、成熟時代に
移行する必要がある
- その時こそ、人、自然、社会が関係するまわりである
“環境”を構成する要素としての地下水を意識する
- そして、自然の恵みを活かした暮らしを構築していきたい



環境学としての
水文学



- 
- 現場におけるひらめきは蓄えた知識・経験の新しい組み合わせ
 - 従来の科学は特定の専門分野において普遍性を追求したが、
 - 現場では普遍性をベースに置いて、その上にある個別性を読み解く必要
 - 両者を大切にして、総合力を身につけよう！
 - 技術者としての誇りをもちよう！