

上総丘陵の地形・地質・地下水

～二つの世界の分断の修復～

近藤昭彦(千葉大学環境リモートセンシング研究センター)

千葉県養老川上流の自噴井

**自噴井の位置は河床より
20m以上高い位置にある**



カバーフォットの自噴井の場所●

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

地下水の不思議



養老川上流域—養老溪谷

千葉時代
命名なるか！



● 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？

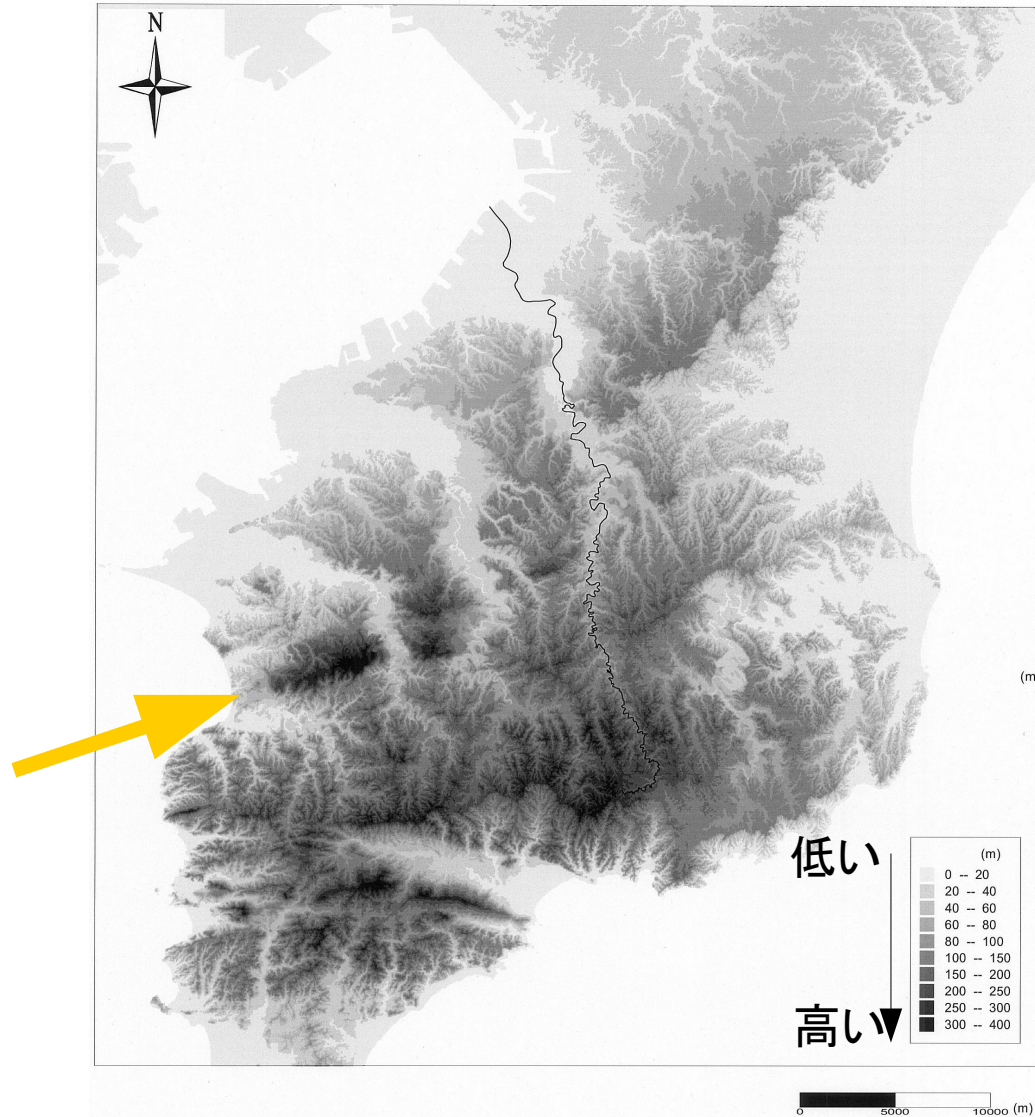
Image © 2009 Digital Earth Technology
Image © 2009 DigitalGlobe
ストリーミング 100%

Google

上総丘陵の地形と地質

砂層が高い峰を形成する

↓ 房総半島の切峰面図、ドットは砂層



↑ 房総半島の標高区分図

東北東から西南西へ延びる高標高部の数本の列が認められる。

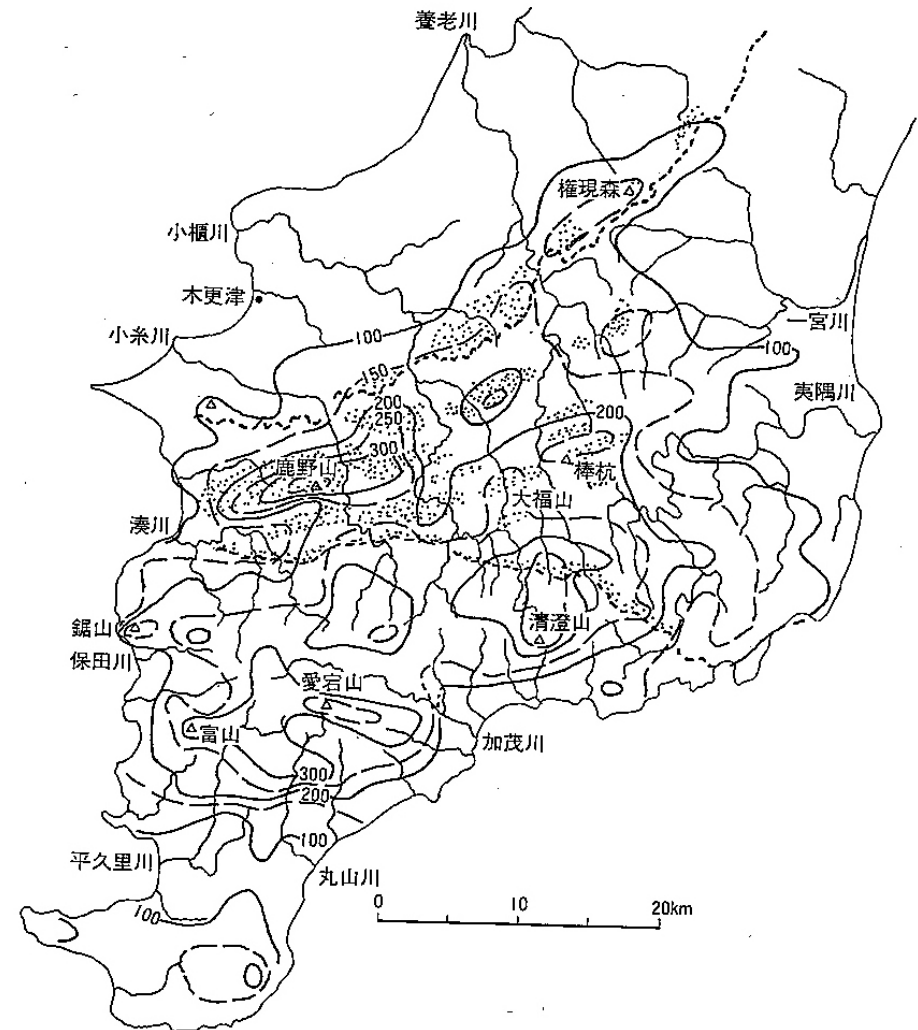
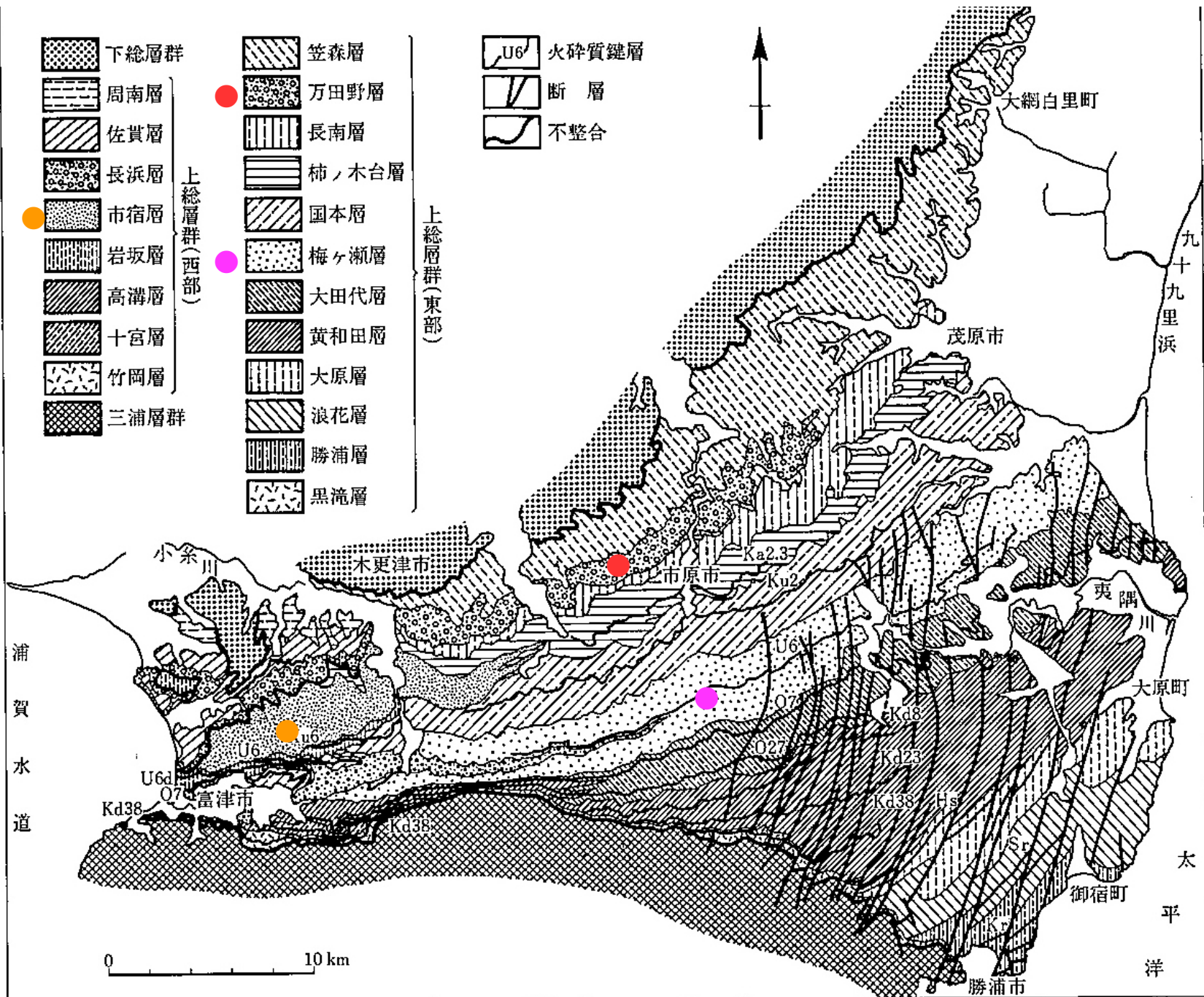


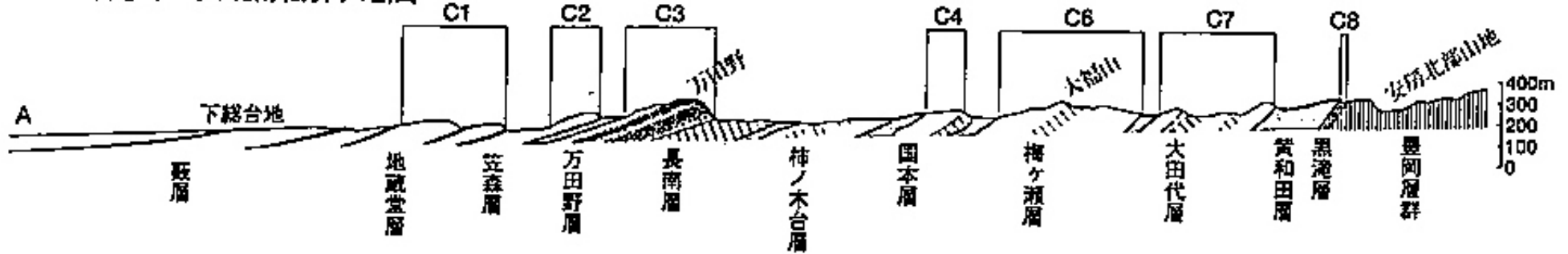
図 8.11 房総半島の接峰面図（等高線間隔 50 m）・水系とケスタをつくる砂層（点々）の分布
〔地形図と各種の地質図より作成〕 2つの破線間に上総層群があり、北側の破線以北には下総層群が、南側の破線以南には三浦層群が分布する。

標高の高い尾根列は砂がちの地層に相当

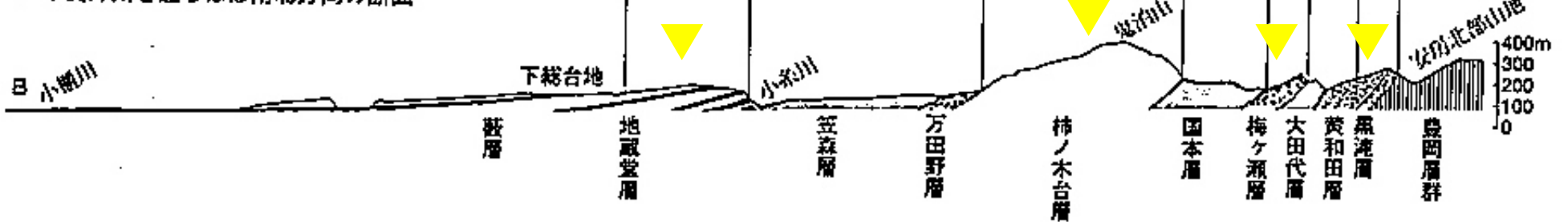


標高の高い尾根列は砂がちの地層に相当—なぜか？ —地表水で排水、地下水で排水—

A ほぼ鶯老川にそった南北方向の断面



B 木更津川を通るほぼ南北方向の断面

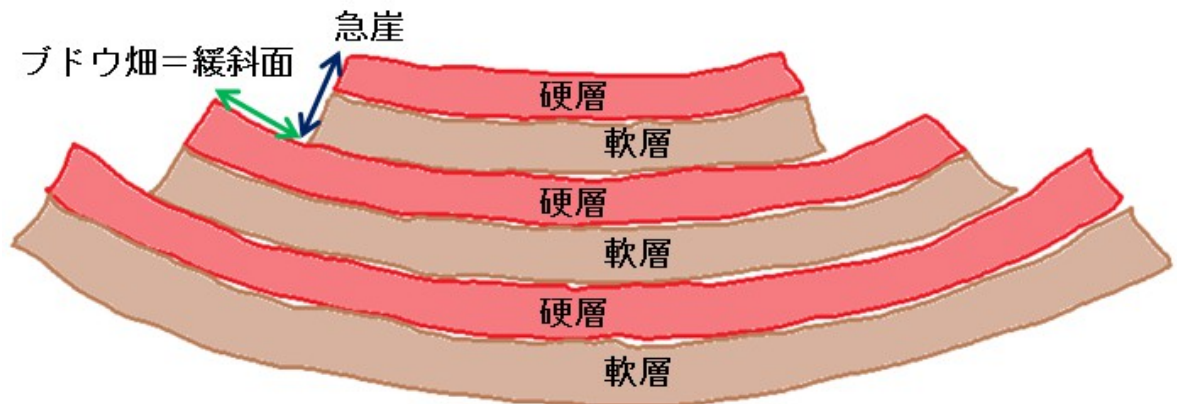


礫層
 砂層
 シルト層
 砂・シルト互層
 凝灰岩
 C1~8 カデナ列の番号

0 2km

ケスタ地形

- 岩石の硬軟によるもの
→ パリ盆地、
ロンドン盆地
- 地層の透水性に基づくもの
→ 上総丘陵 (カデナ地形)



(<http://chiri-geography.com>より)

単斜構造を呈する砂泥互層—たくさんの自噴井



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)

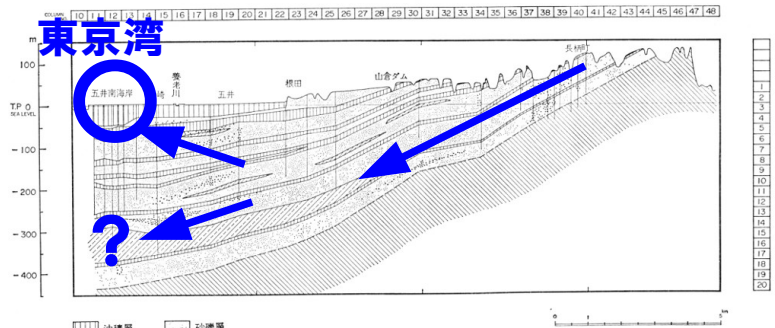
東京教育大学、立正大学の
水文学Gによる悉皆調査
⇒市民科学の可能性

成田層（下総層群）の構造

東京湾に向かって傾斜する
単斜構造（将棋倒し構造）



東京湾

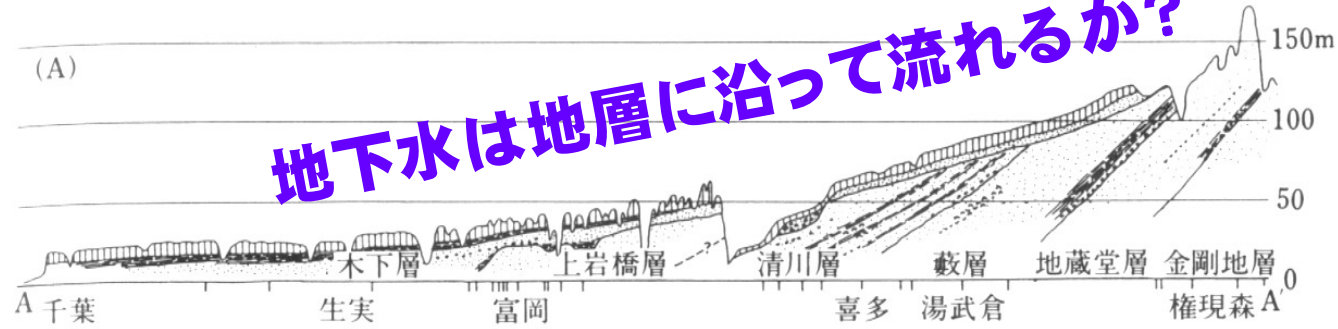


沖積層
砂層
砂質粘土層
砂質層
粘土層
笠森層

関東ローム層
礫
砂
砂・泥互層
粘土、砂質粘土
シルト、砂質シルト
軽石
貝化石
露頭的位置

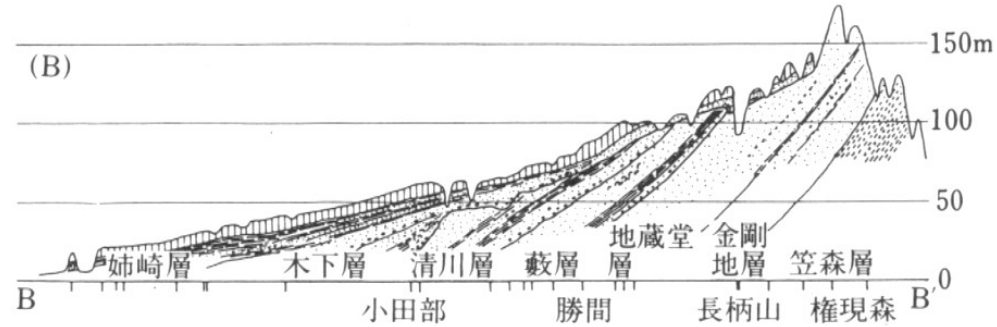


(A)

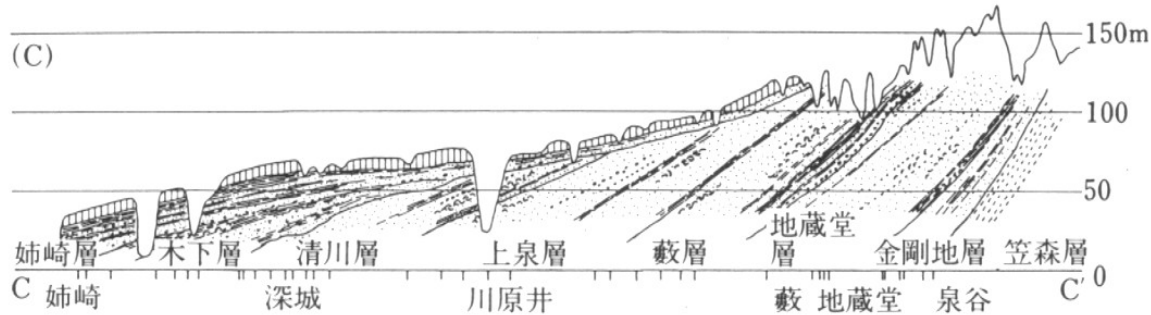


←東京湾

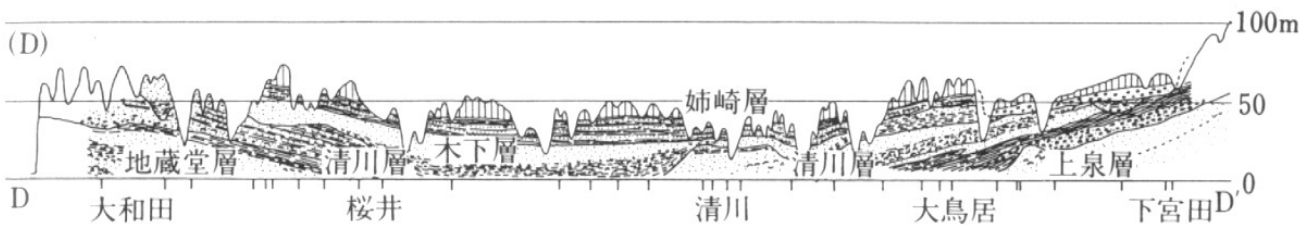
(B)



(C)



(D)



東京湾下の地下水は淡水

(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.

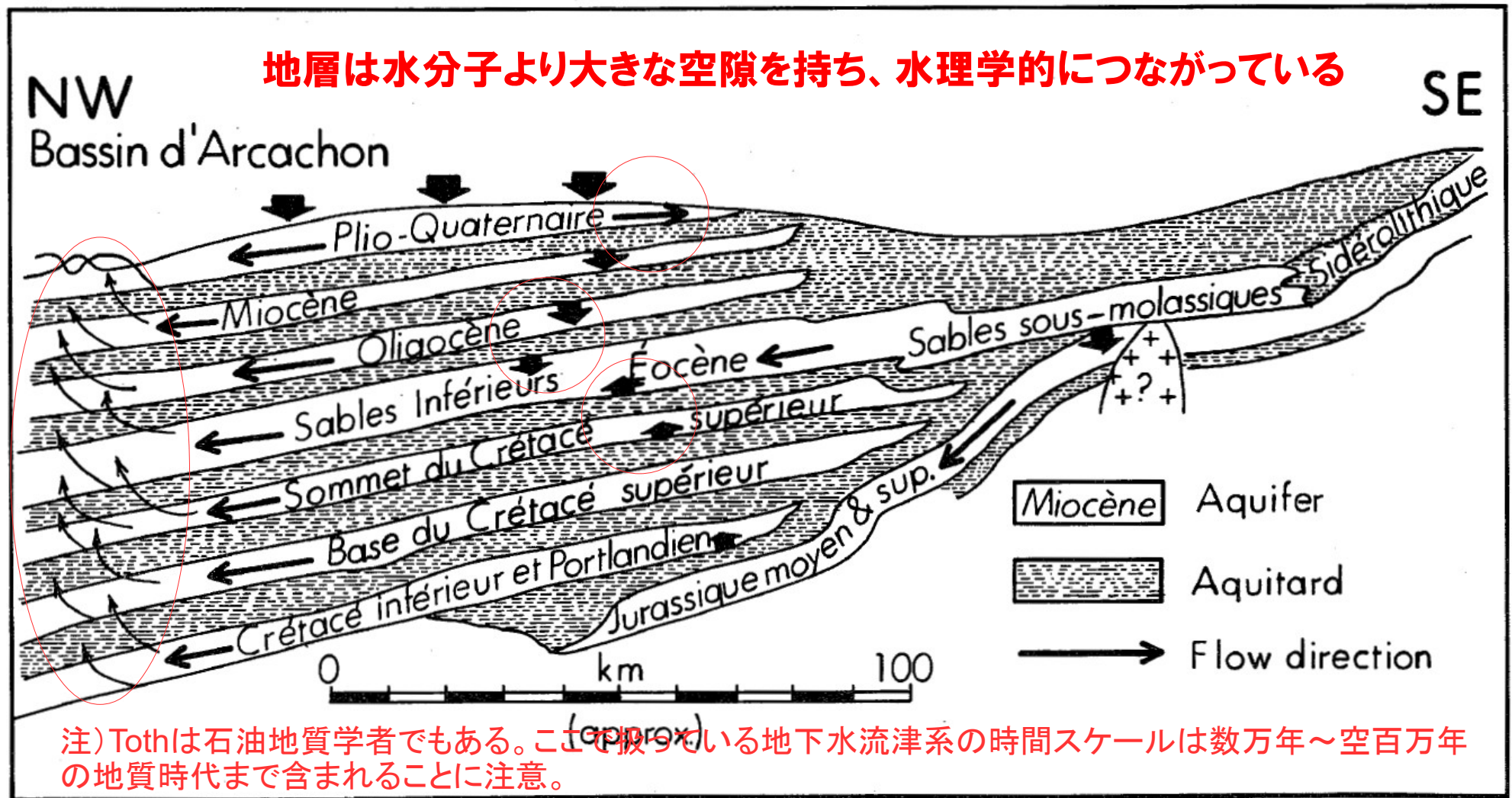


Figure 3. Schematic of multiple-aquifer systems and computed flow rates, Aquitain Basin, France (modified from Besbes et al., 1976).

地下水流動系入門

水は低きにつく・・・何の低きに？

ポテンシャル（水理水頭）

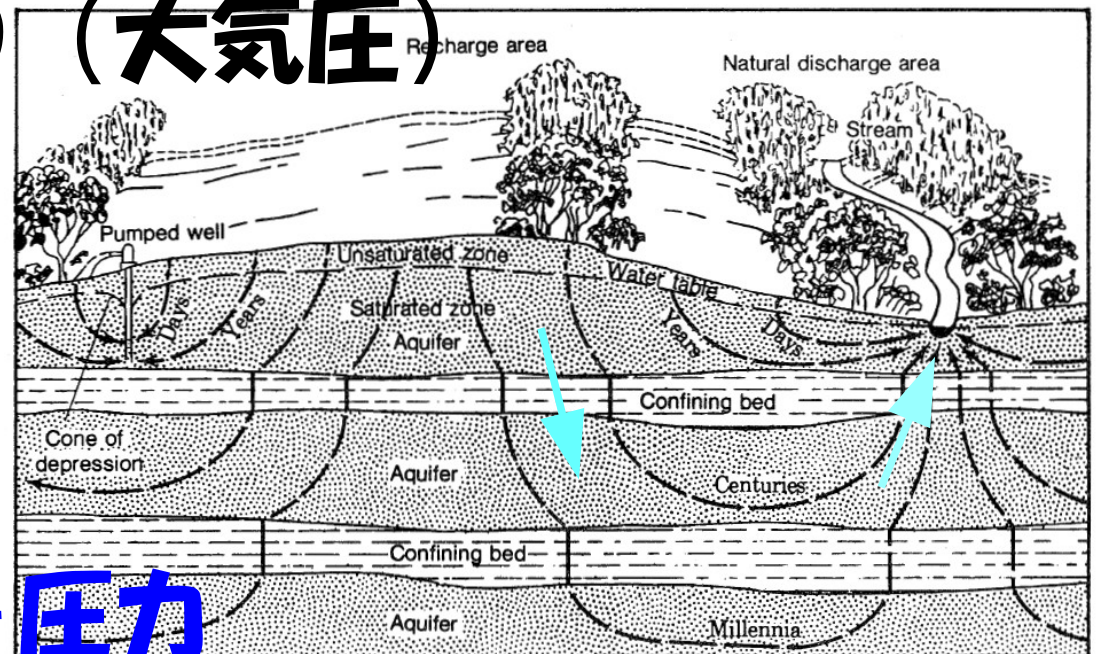
水理水頭 = 高さ + 圧力

川の場合は圧力は0（大気圧）

水理水頭 = 高さ

地下水の場合

水理水頭 = 高さ + 圧力



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

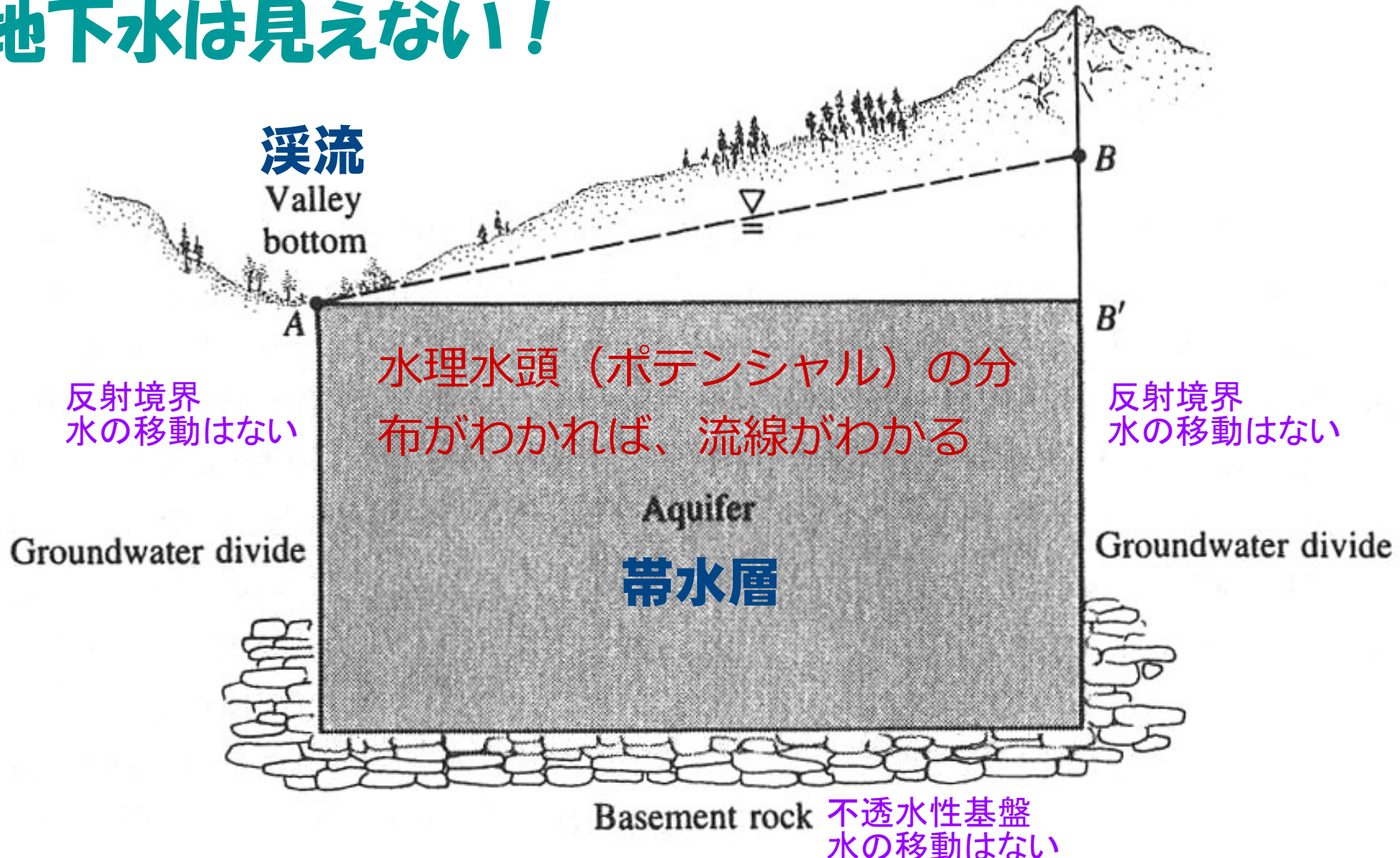
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

尾根



Topographic high

地下水は見えない！



左端に大河川、右端が流域界となっている波丘地を仮定

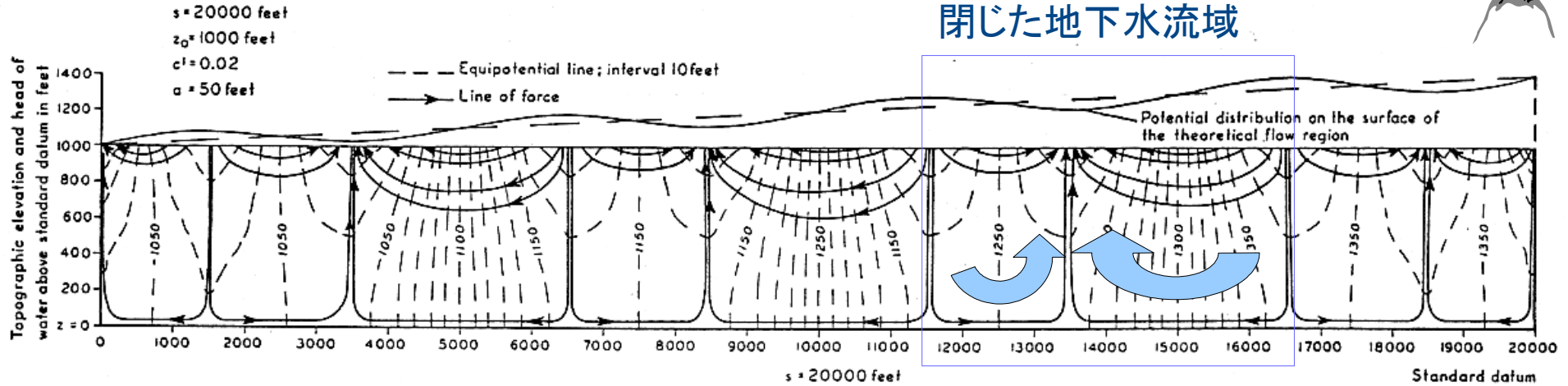


Fig. 2a. Potential distribution and flow pattern as obtained by equation 6.

→ 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

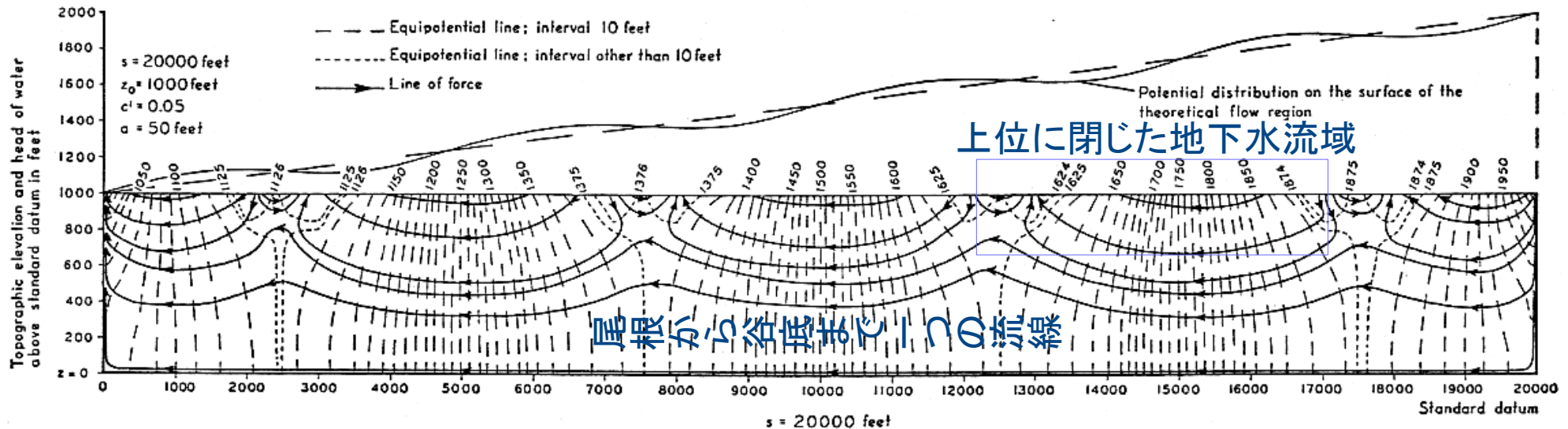


Fig. 2c. Potential distribution and flow pattern as obtained by equation 6.

T6thが到達した地下水流動系の概念

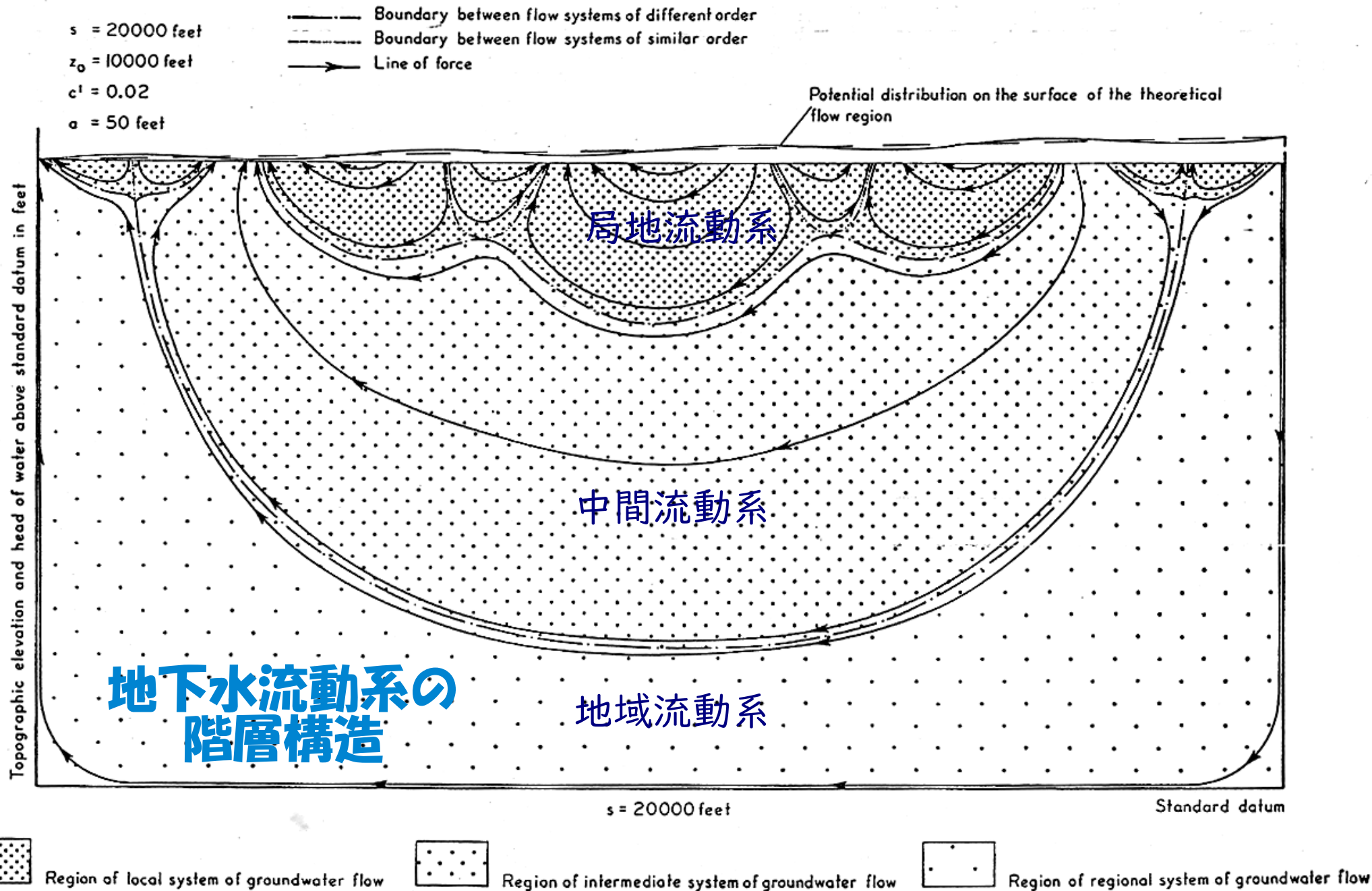


Fig. 3. Theoretical flow pattern and boundaries between different flow systems.

- 湿潤地域では地形の高まりは地下水面の高まりとなる

- 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

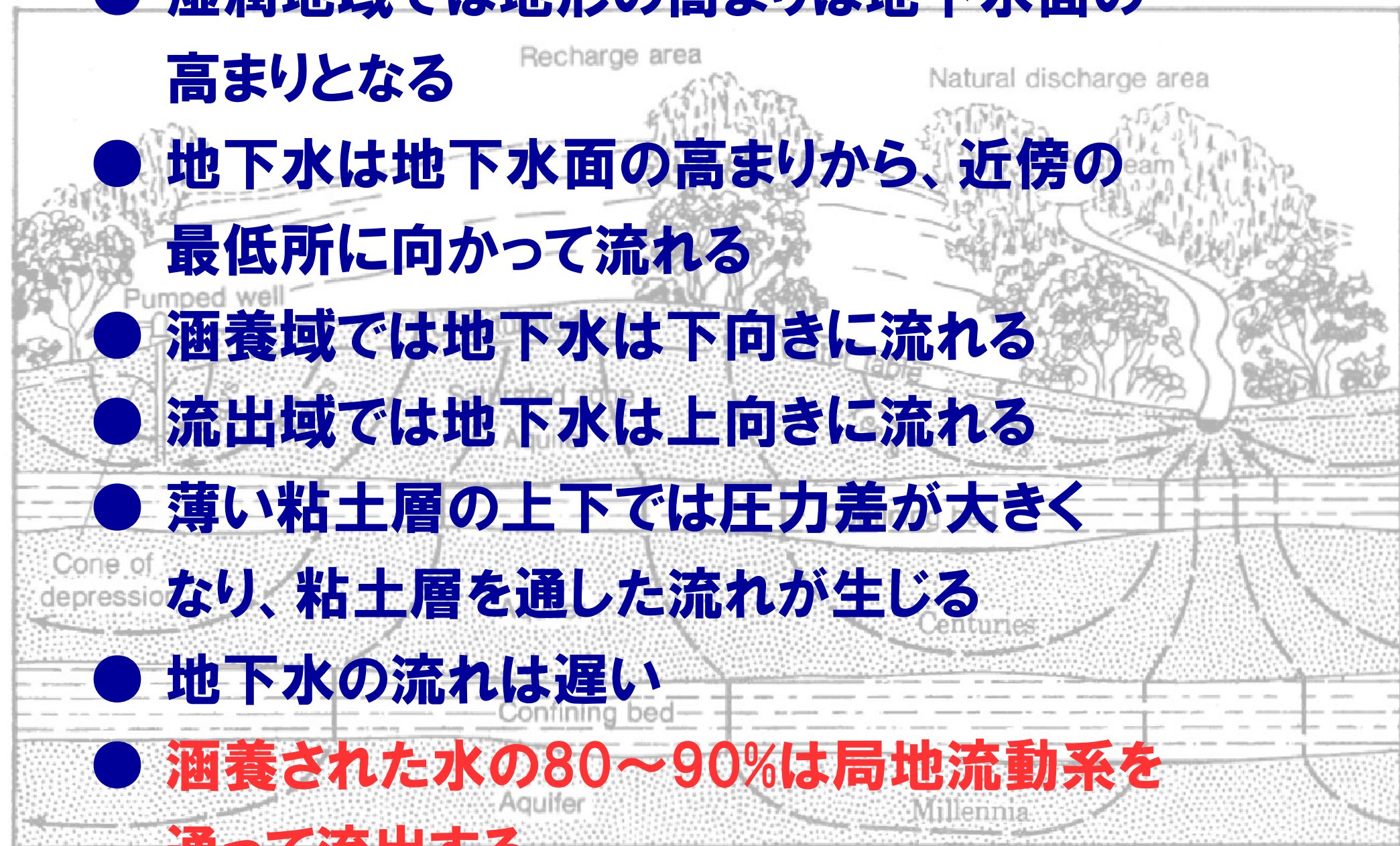
- 涵養域では地下水は下向きに流れる

- 流出域では地下水は上向きに流れる

- 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



黒い破線は流線



(Tóth, 1995)

自噴のメカニズム再考



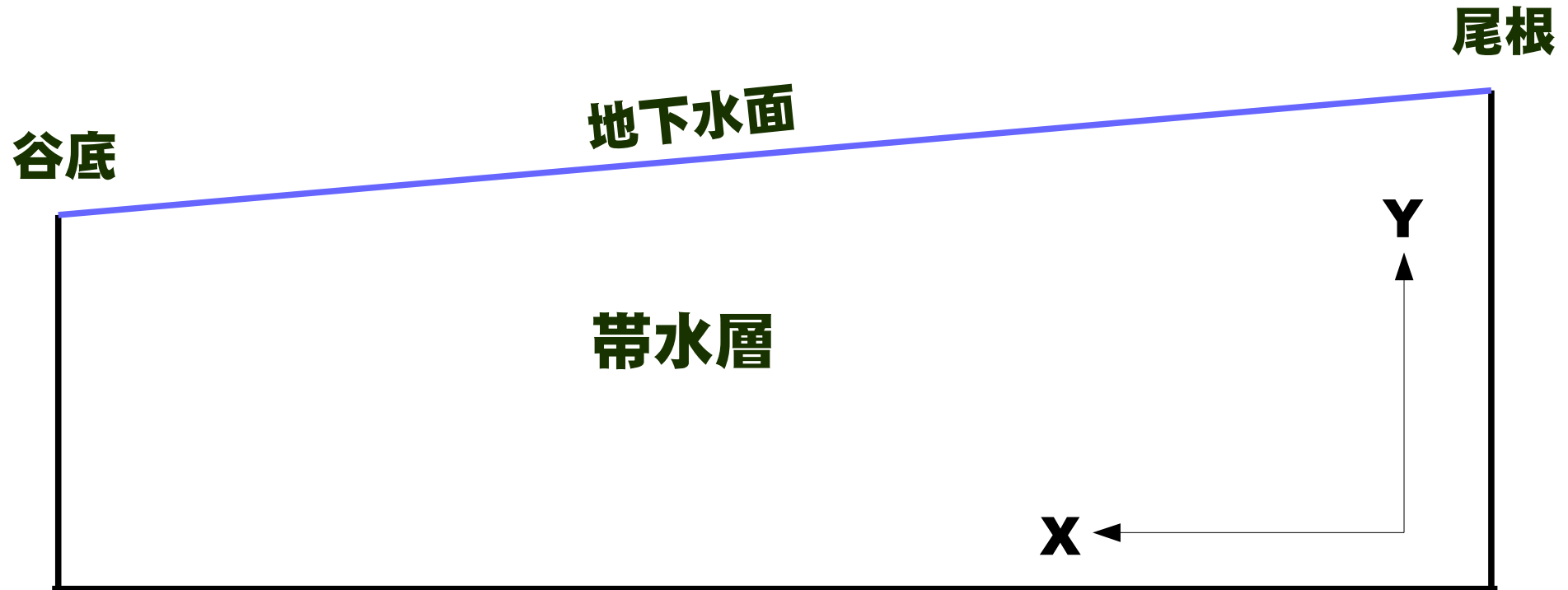
●上総丘陵の砂泥互層を透水係数の異方性としてとらえる⇒地質構造をマクロにとらえる



●自噴は、透水係数の異方性の効果

●三次元的な流れを考慮する必要
⇒紙面に直角な方向の流れ

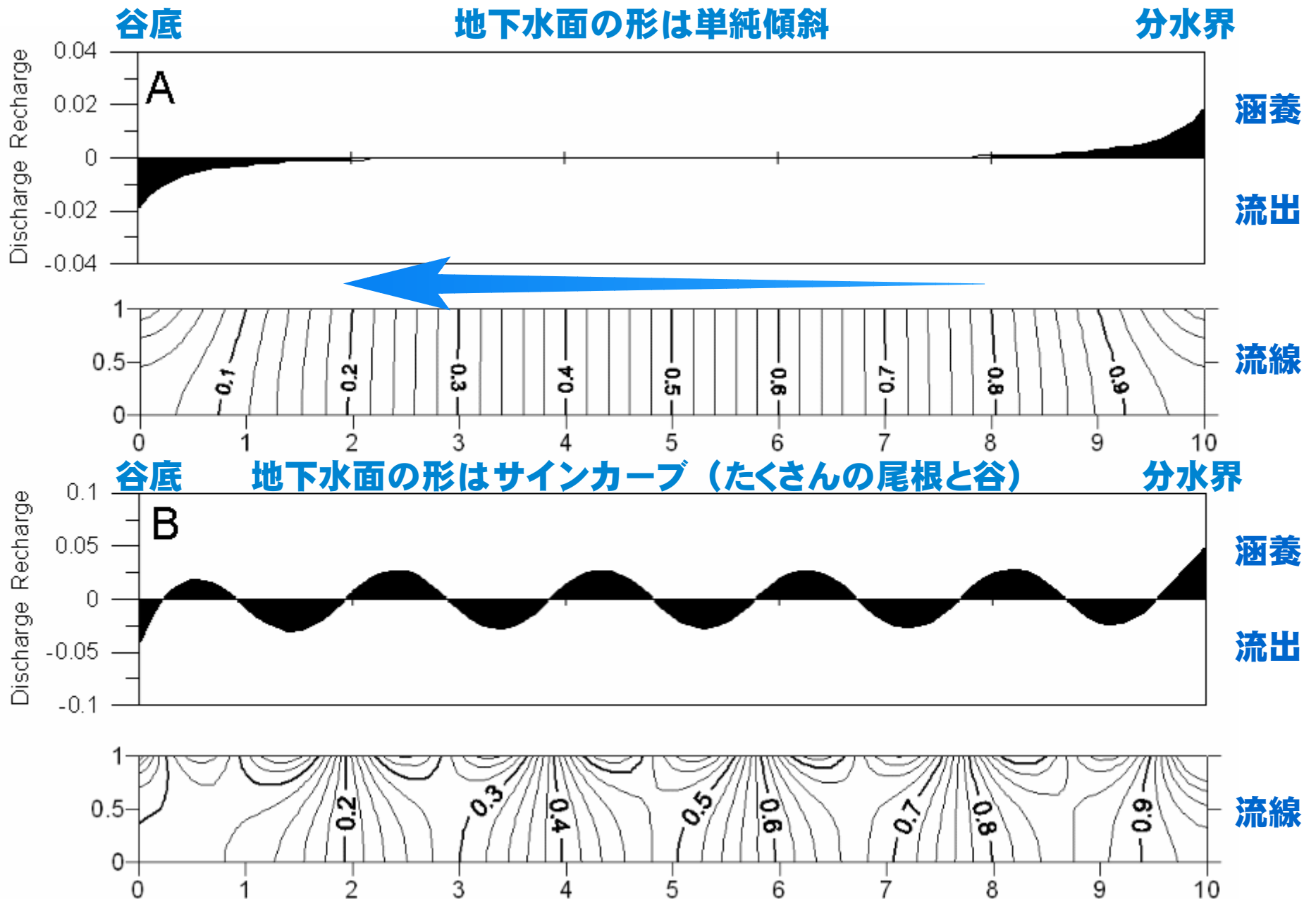
- 単純な2次元の帯水層を考える
- 左端が谷底（河川）、右端が尾根
- 地下水面は尾根から河川に単純に傾斜している



- 地下水の流れはどうなるか
 - 透水係数が等方性の場合 ($K_x = K_y$)
 - 透水係数が異方性を持つ場合 ($K_x > K_y$)
- ⇒単斜構造の水理学的表現

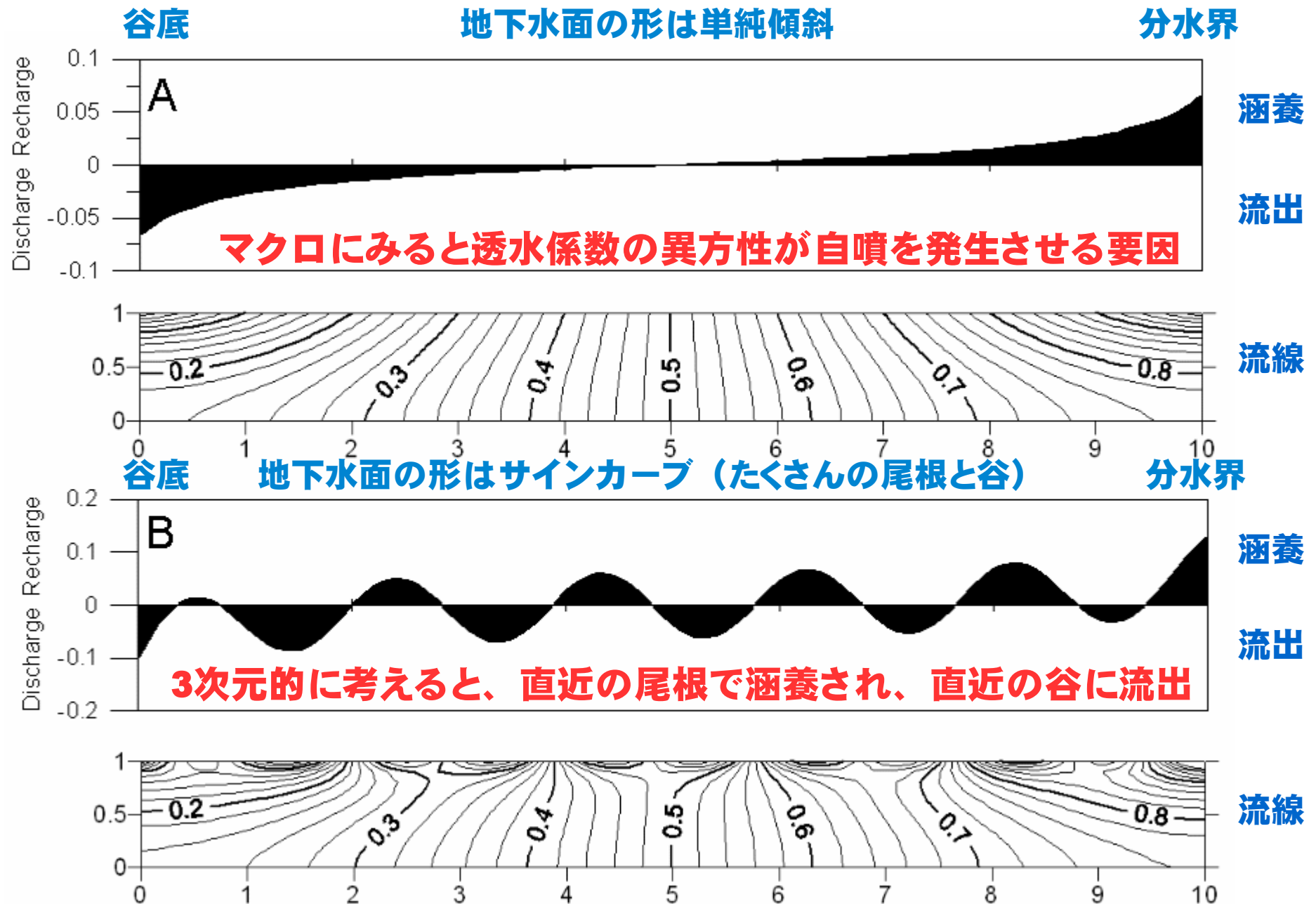


帯水層が均質かつ等方な砂から構成されている場合



帯水層が異方性を持つ砂から構成されている場合

—水平方向の透水係数は鉛直方向の10倍—

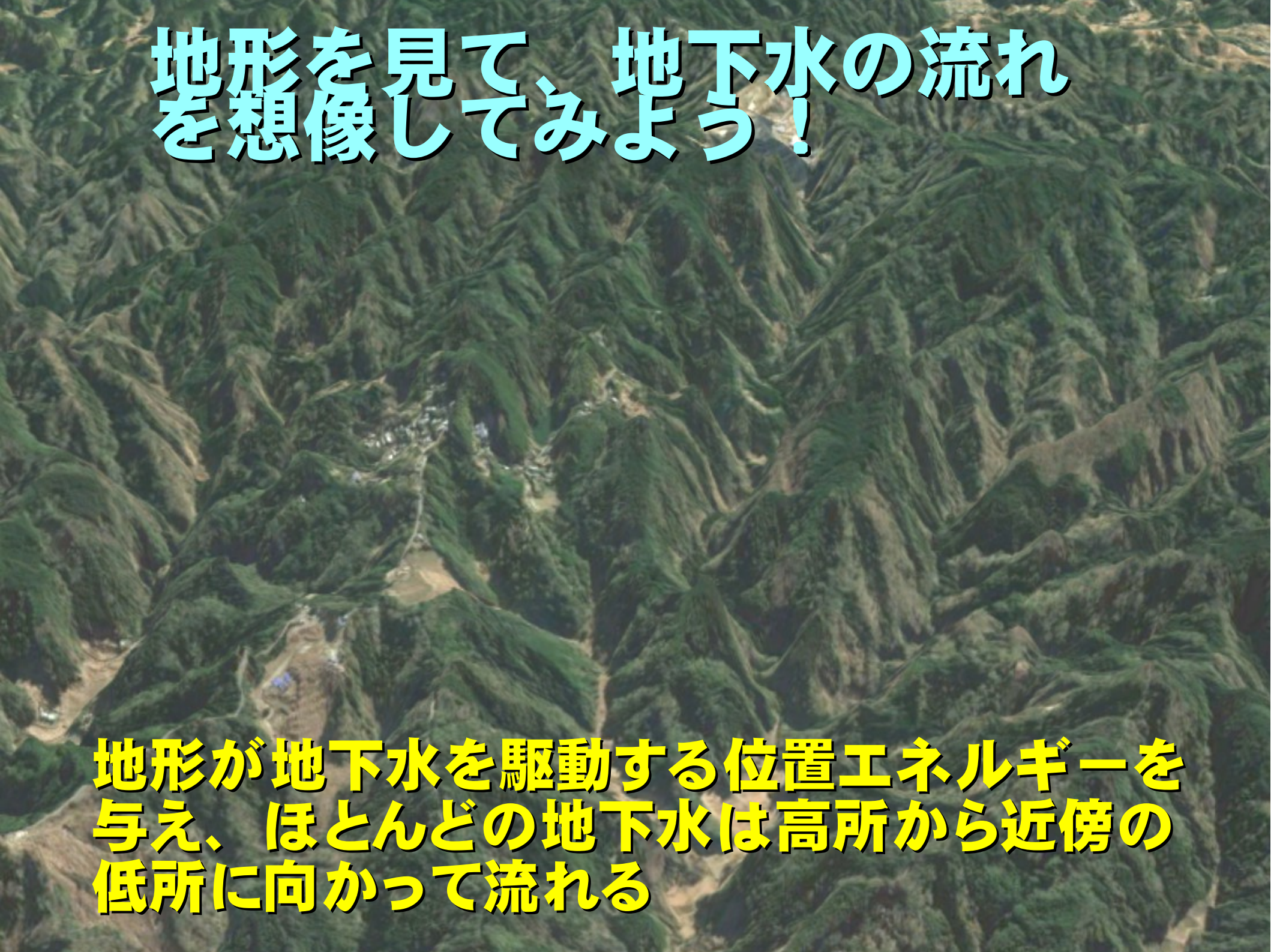


水理水頭の分布は地形・地質で決まる

大きなスケール 地形 > 地質

小さなスケール 地形 < 地質

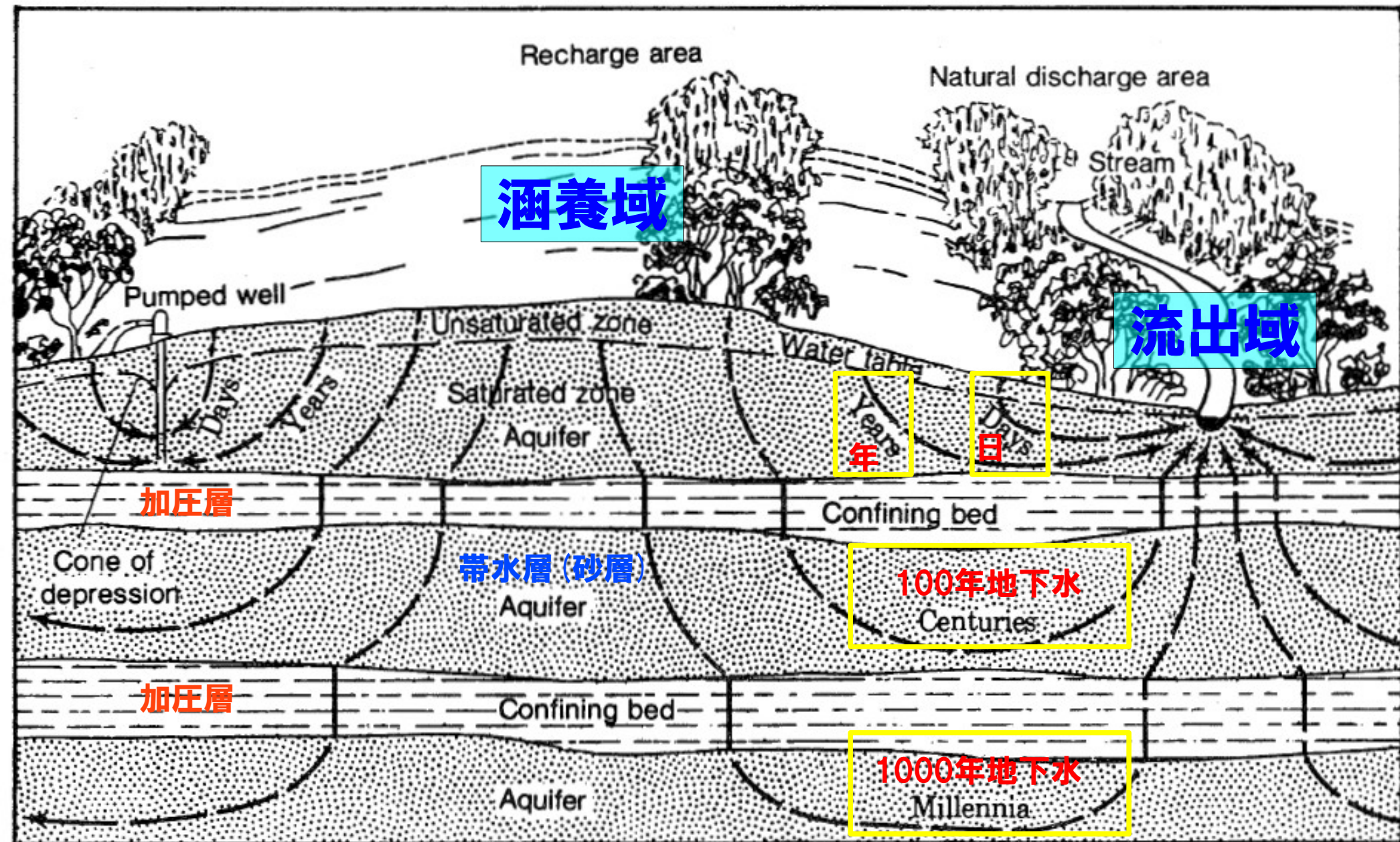


An aerial photograph of a mountainous region. The terrain is characterized by steep, green slopes and prominent, brownish ridges. The valleys are filled with dense green vegetation. The overall scene illustrates the topography that influences groundwater flow.

**地形を見て、地下水の流れ
を想像してみよう！**

**地形が地下水を駆動する位置エネルギーを
与え、ほとんどの地下水は高所から近傍の
低所に向かって流れる**

地下水はどのくらいの時間をかけて流れるか



水はポテンシャル（高さ+圧力）の低きにつく

(Tóth, 1995)

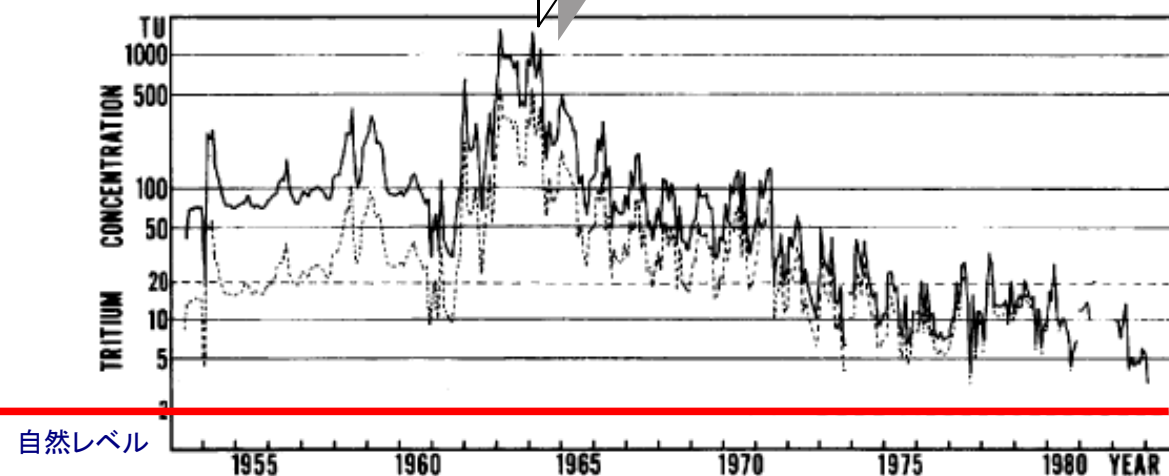
地下水の年齢は？ いつの雨なのか？ トリチウム(^3H)による地下水の年代測定



東京および筑波における降水のトリチウム濃度

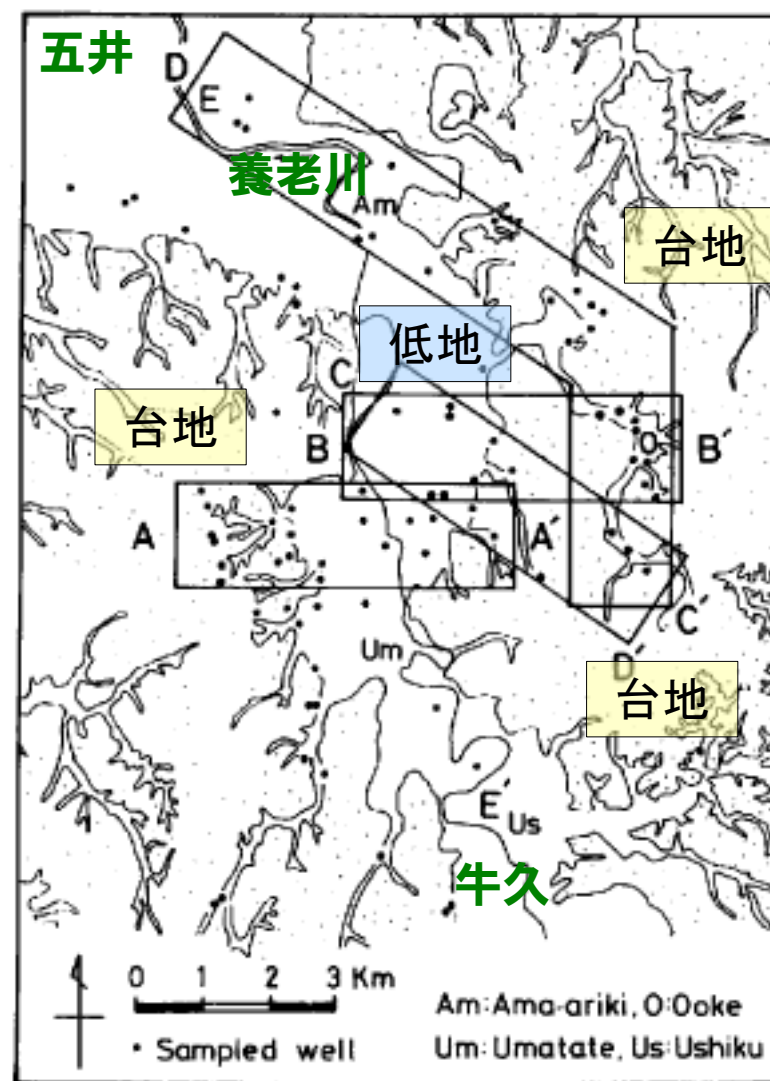


1963年に濃度ピーク
雨に濡れると禿げる!?



- ・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



養老川下流域の台地－低地－台地の地形の連鎖

- 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

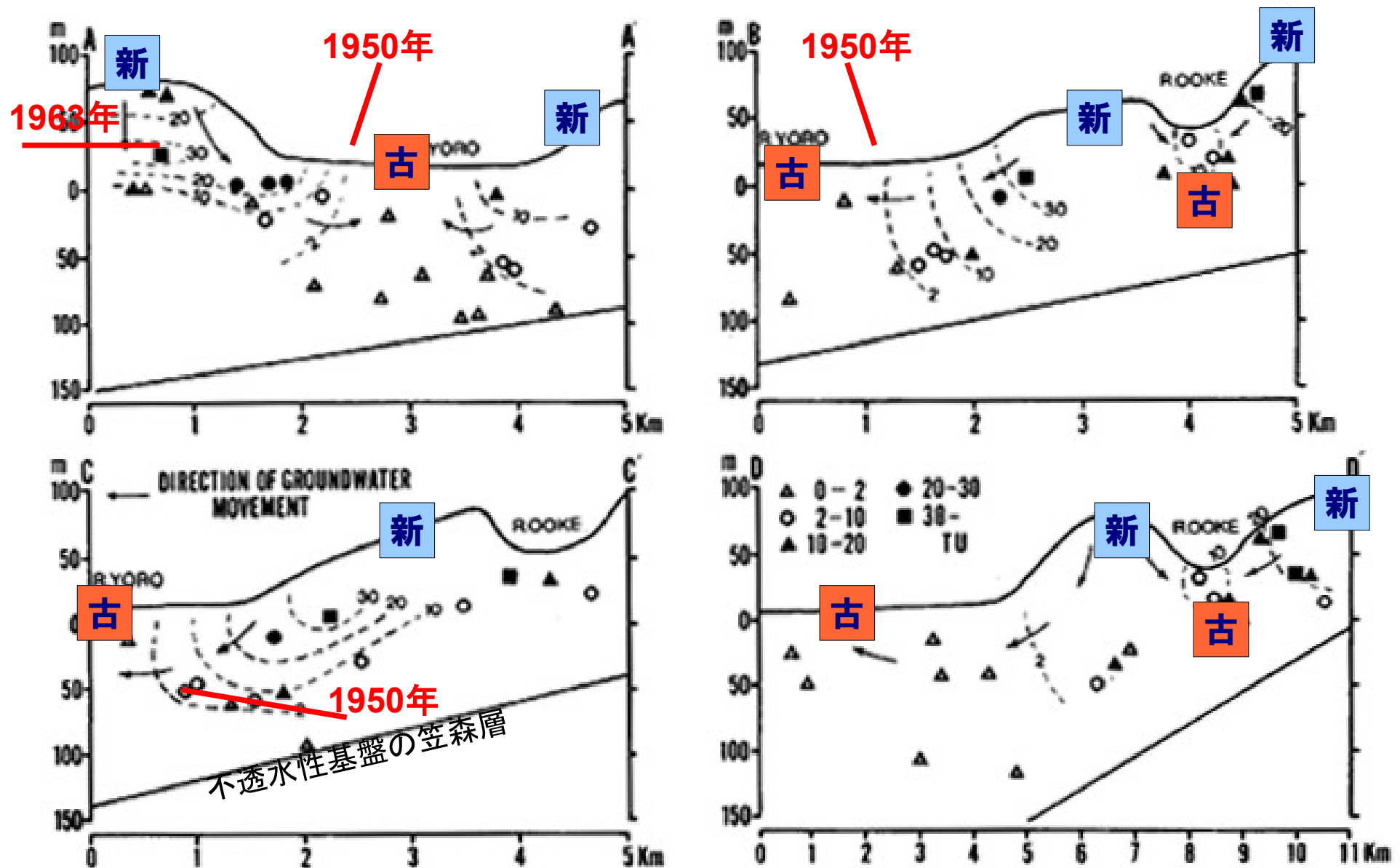


Figure 13 Estimated directions of groundwater movement based on Figure 12.

(近藤、1985)

養老川上流域－養老溪谷



● Ushiku

砂泥互層の丘陵地域の地下水の流速は

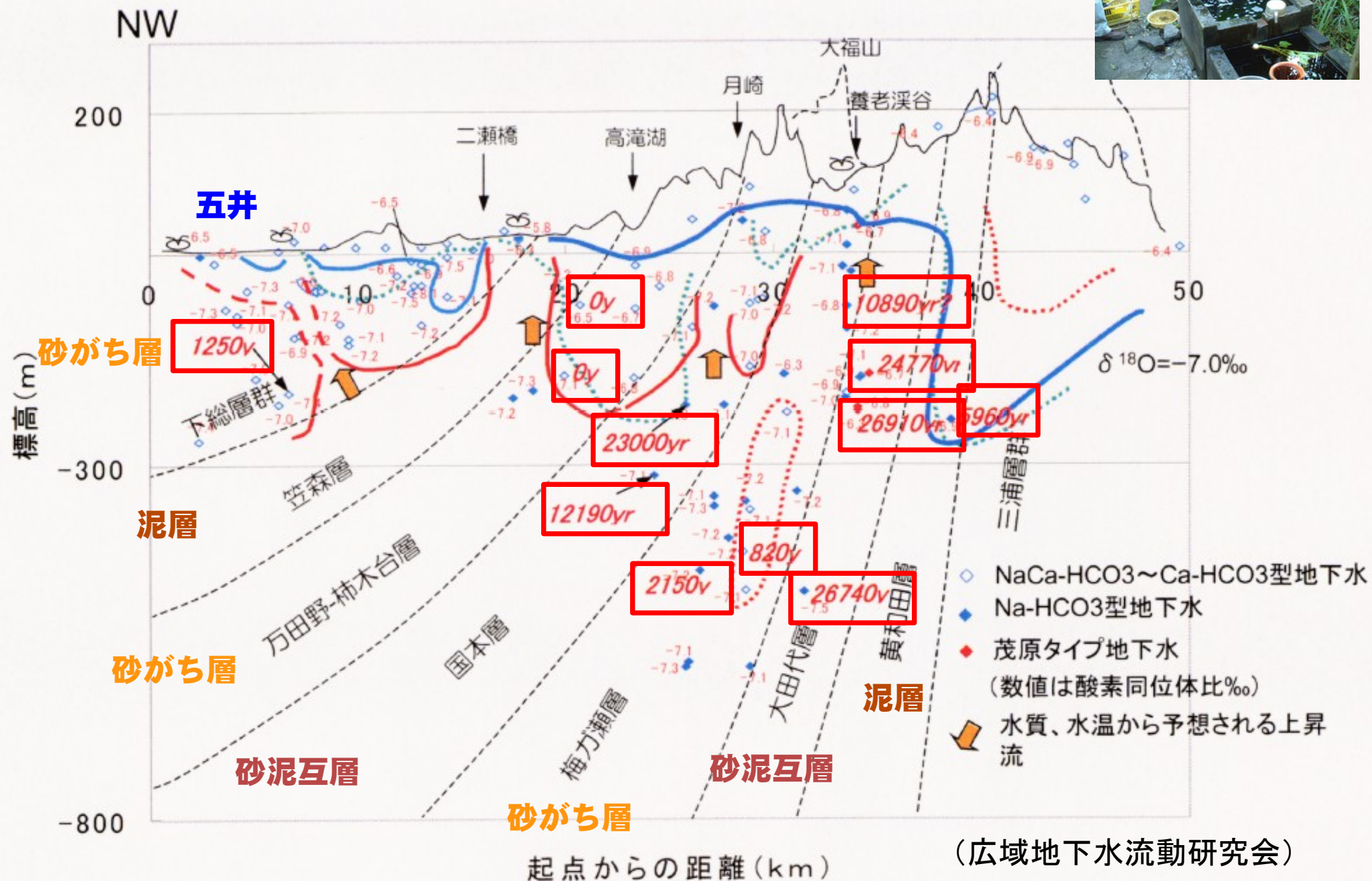
Image NASA
© 2008 Europa Technologies
Image © 2009 Digital Earth Technology
Image © 2009 DigitalGlobe
ストリーミング 100%

© 2007 Google

39.16° N 140° 09'26.79" E 高度 53 m

上空 2.61 km

地下水の年齢－養老川流域の自噴井





地下水の流れはとても遅い

- 数万年前の雨を我々は使っていることも
- 一度汚したらもとに戻すには時間がかかる

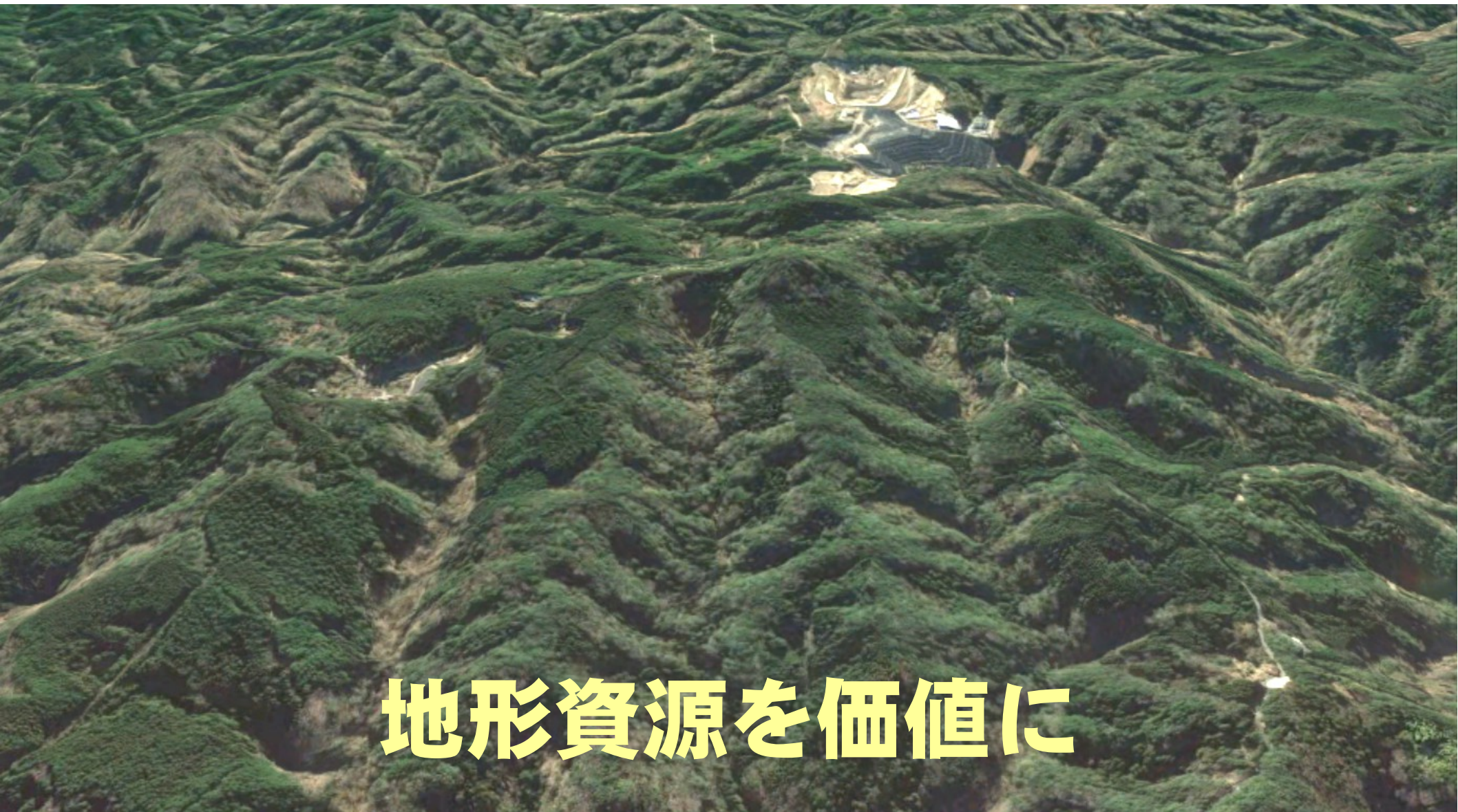
雨が降ったら湧水の水量が増える

- 数十年前の水？
- 水の圧力は短時間で伝わるので、上流で浸透した水が下流の水を押し出す

量の保全⇒質の保全

（水流発生機構：自然流域で降雨時に増える河川水は、ほとんどが地下水起源）

氷期・間氷期サイクルの影響を受けた地形 —地形に残された氷期・間氷期サイクルの痕跡—



地形資源を価値に

●ローカル地質、地形変化の歴史、を知ることの大切さ

(C)Google



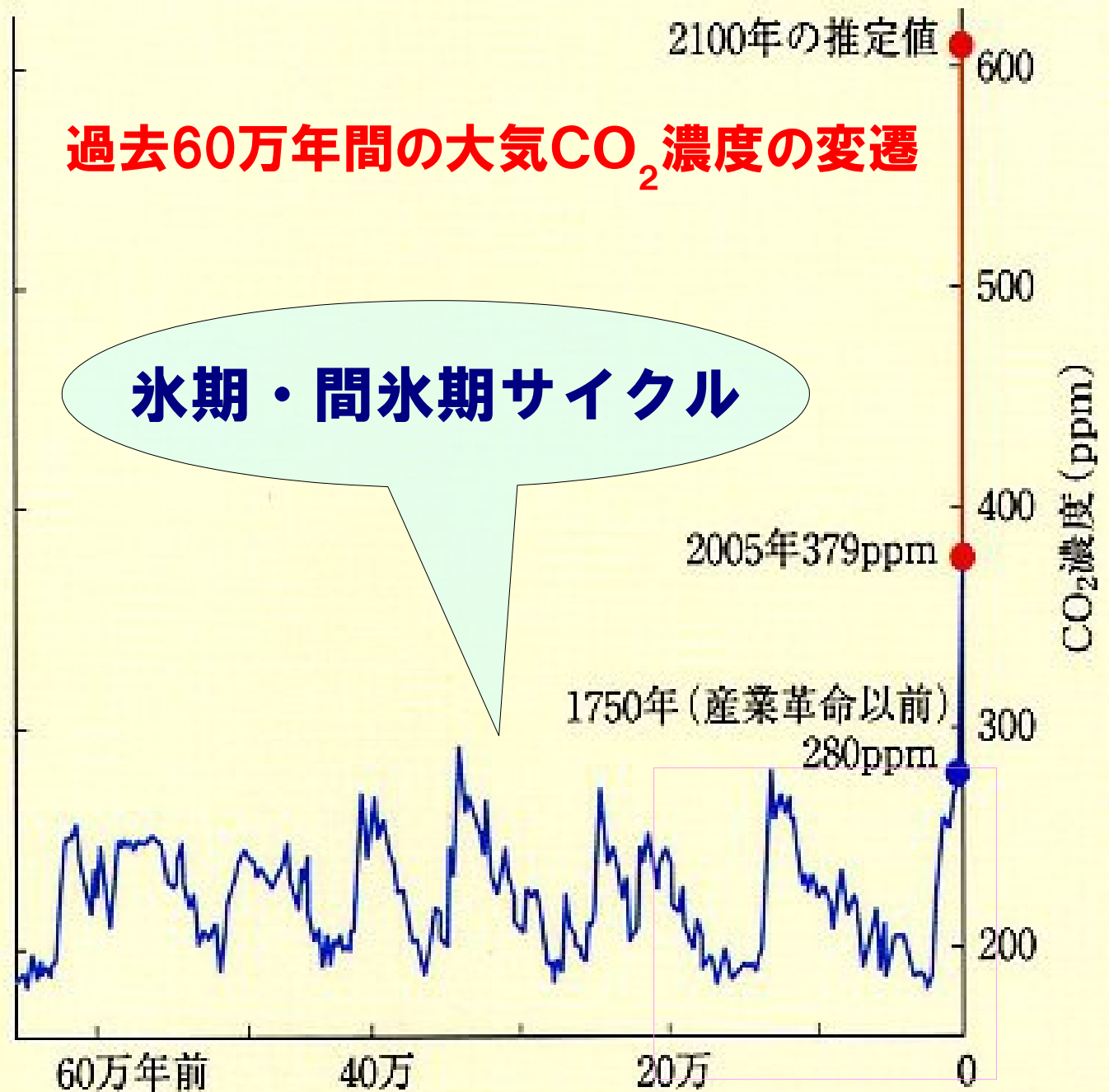
氷期－間氷期サイクルによる気温変動にตอบสนองして大気中のCO₂濃度は規則的な変動を繰り返してきた。

ところが、近年のCO₂濃度は過去60万年で経験したことがないレベルまで上昇し、西暦2100年にはこれまでの2～3倍に達するという。

このような変動が下総台地の地形の形成、湧水のありかたとどのように関連しているのだろうか。

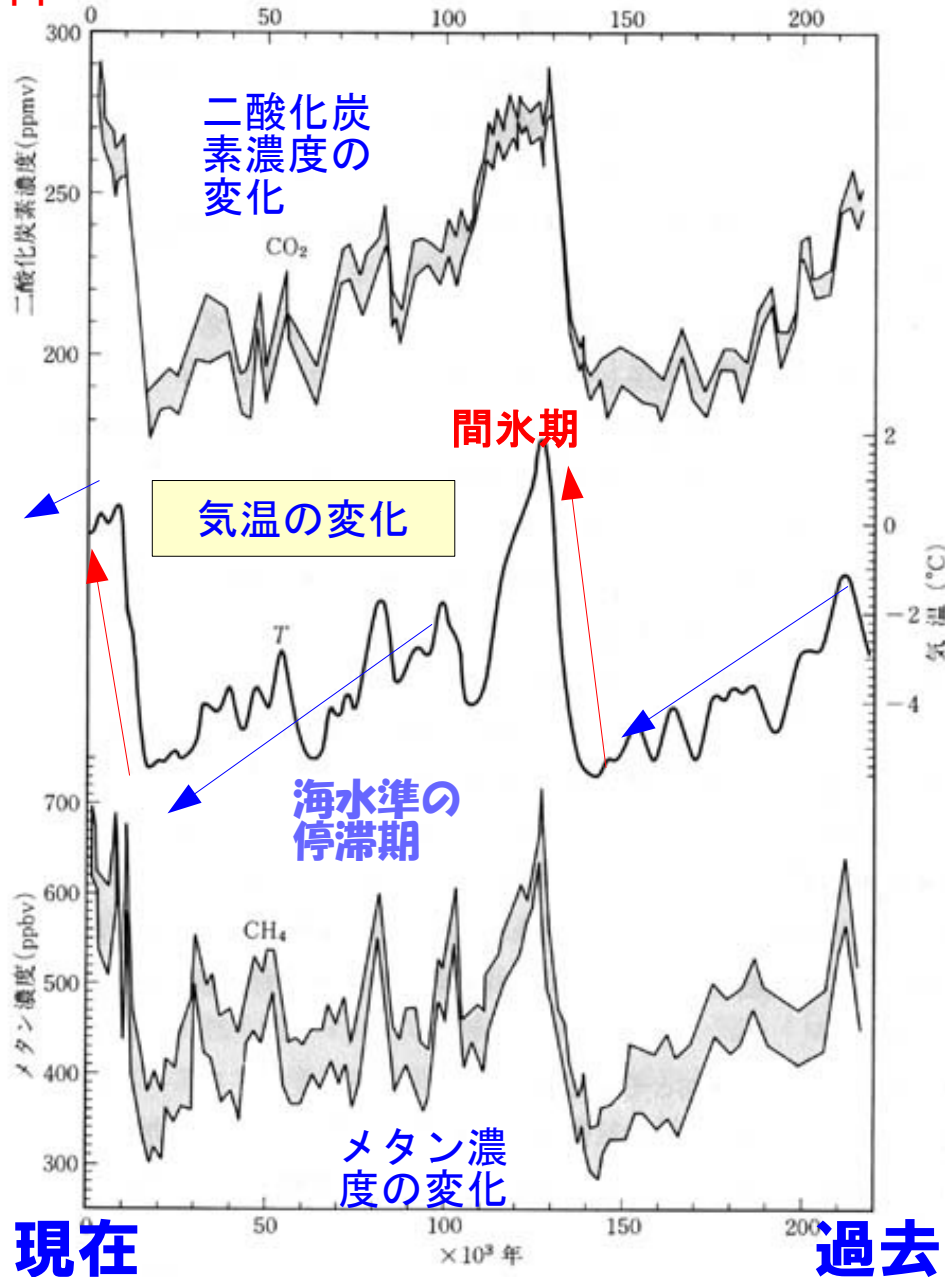
過去60万年間の大気CO₂濃度の変遷

氷期・間氷期サイクル



300ppmv

13万年前 20万年前



現在

過去

図5.3 過去22万年にわたって生じたCO₂濃度、気温、メタン濃度の変化。南極のボストーク基地での氷床コアの分析による (IPCC, 1990)。

過去20万年前以降の気候変化

- 氷期・間氷期サイクルの気温変化は急激な温暖化、短い間氷期、長期の寒冷化
- 約2万年前に最終氷期は突然終わり、急激な温暖化が始まった
- 現間氷期で、最も温暖な時期はすでに過ぎ去った

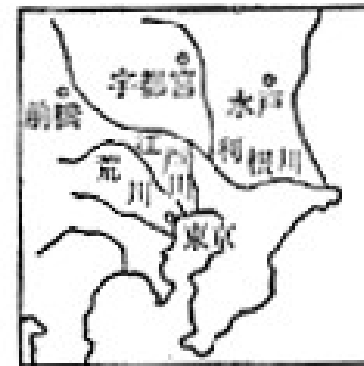
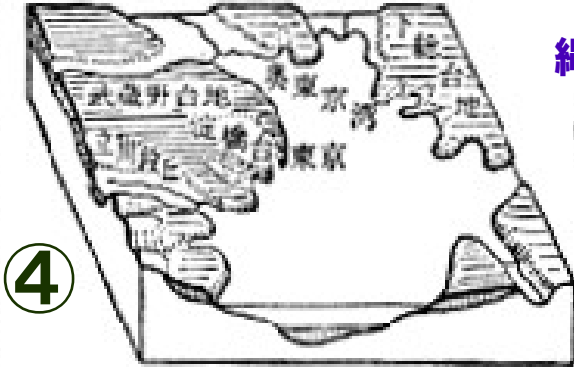
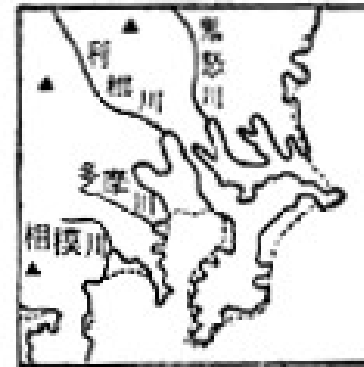
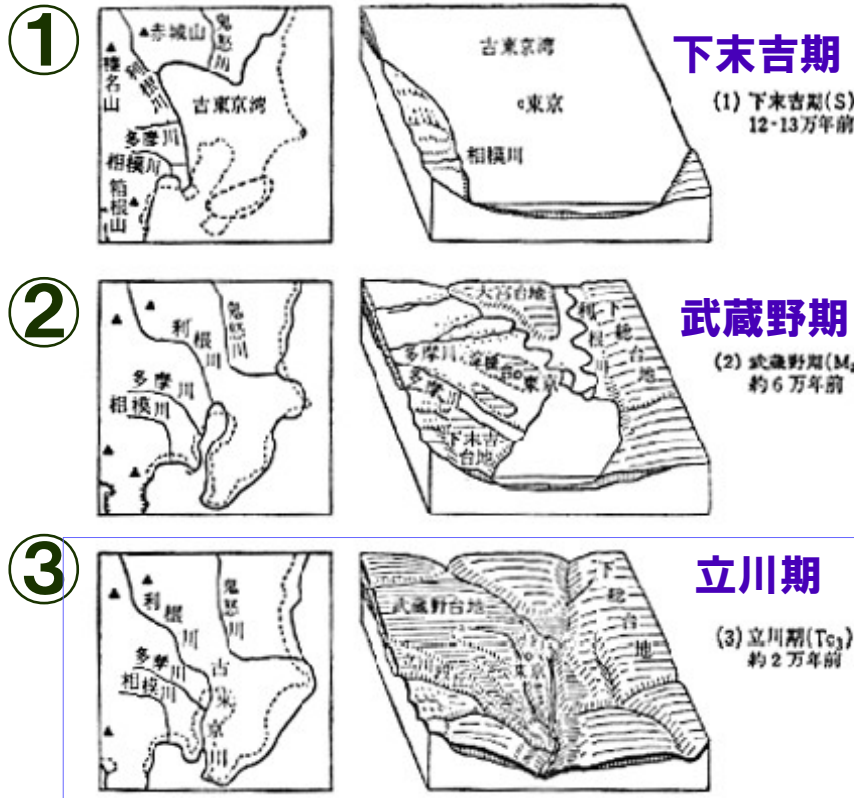
気温の変化⇒海水準の変化



図13 旧石器時代の関東平野の原風景画（関東ロームの花粉分析の結果にもとづいたこの復元図は近く大きく変更されるかもしれない）

(環境考古学、安田喜憲、NHKブックス)

東京湾周辺の地形の形成



- 約12万年前、下総台地は古東京湾の海底だった
⇒この海底が隆起して現在の台地面になった(下末吉面=下総上位面)
- 約6万年前の海水準の停滞期に下末吉面の下位に武蔵野面と呼ばれる地形面が形成された
- 約2万年前の最終氷期最寒冷期に海水準は100mほど低下し、古東京川が形成された

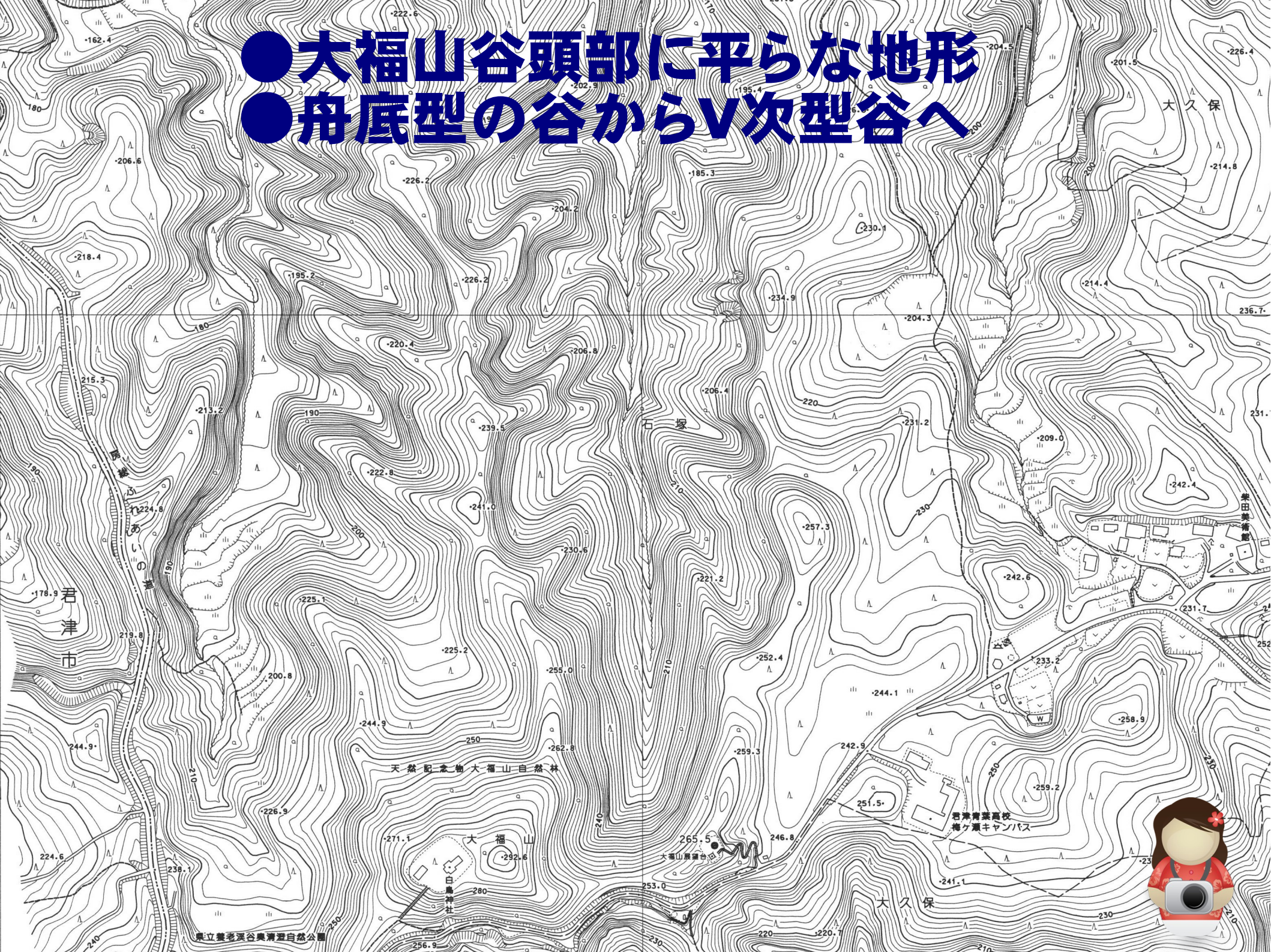
- 氷期が約1万年前に終わりを迎え、海水準は上昇し、約6千年前に現在より約3mほど高くなり、台地を刻む谷は溺れ谷になった
- その後、海水準は現在のレベルまで低下し、沖積低地が形成された

海水準の停滞期には地形面が形成される

(貝塚、1977)

●大福山谷頭部に平らな地形

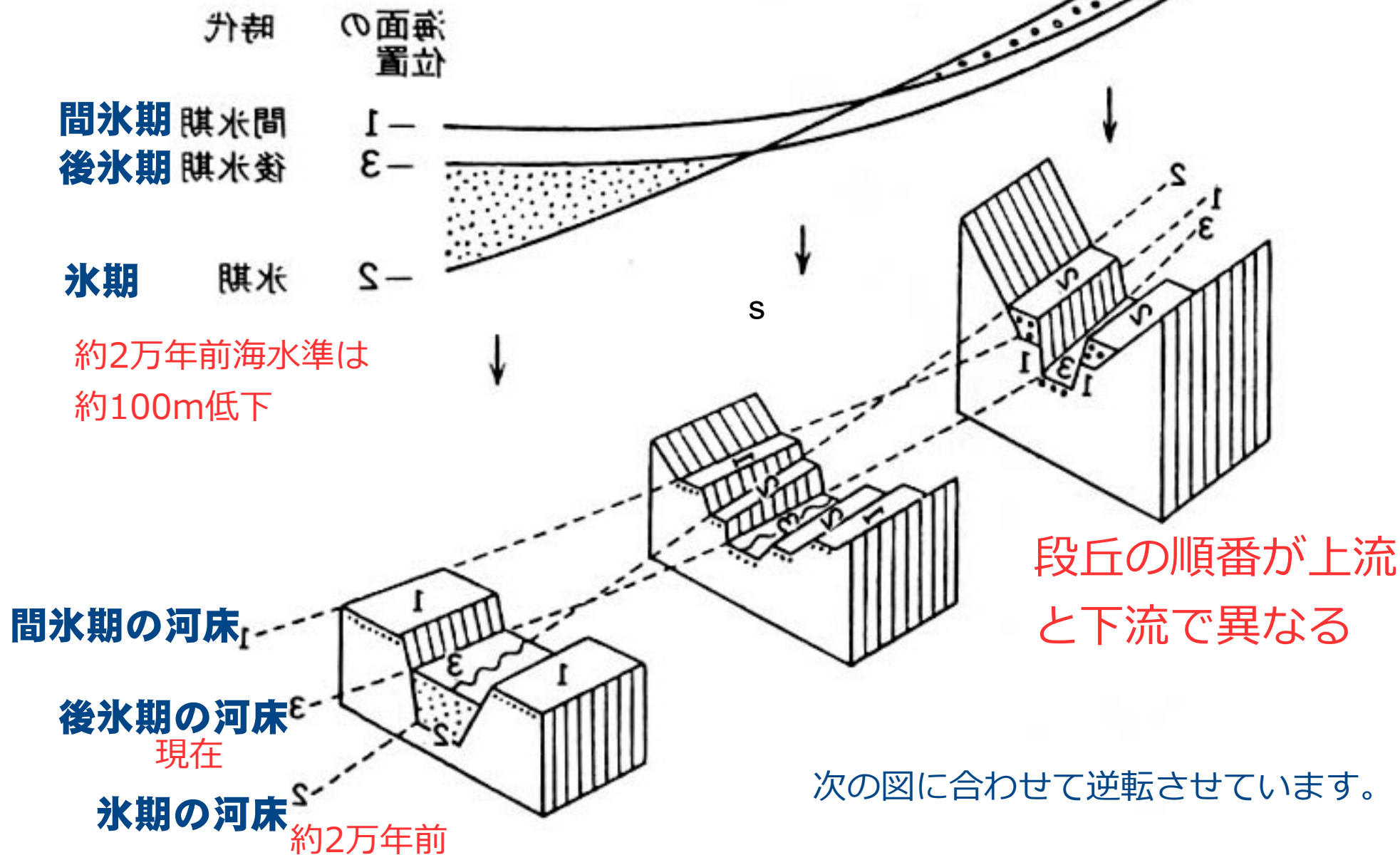
●舟底型の谷からV次型谷へ



氷期・間氷期サイクルに伴う河床縦断形変化と河岸段丘の形成

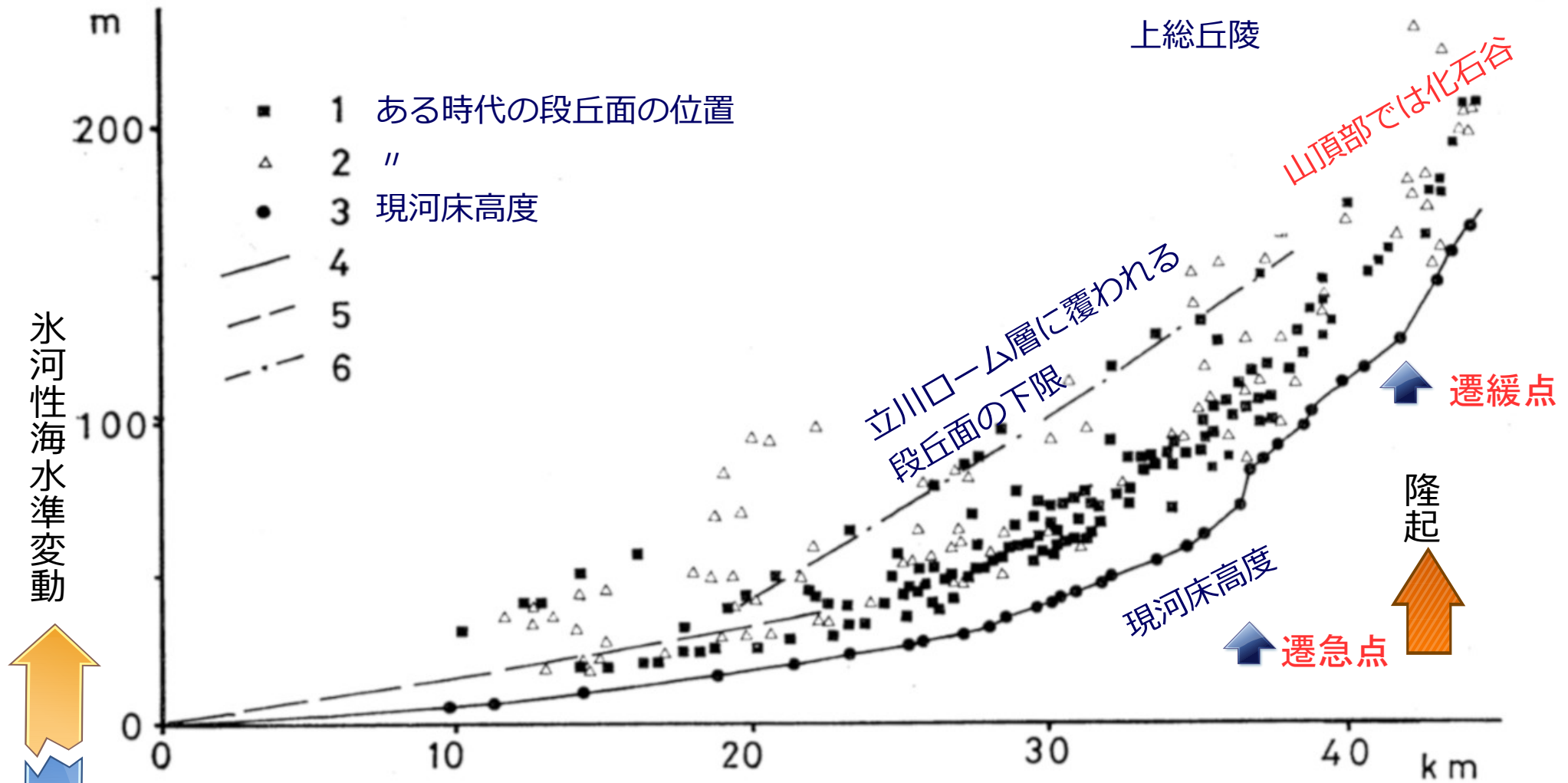
高山では氷期は大量の岩屑を生産（2）

河床縦断面形
面 階 終 末 図



●小櫃川における河成段丘（河岸段丘）の高度分布

●小櫃川の河床断面の遷急点



第3図 小櫃川における河成段丘面の高度分布図

1. 侵食変化型段丘, 2. 河道切断型段丘, 3. 現河床高度計測点, 4. 現河床高度,
5. 沖積平野面高度, 6. 立川ローム層におおわれる段丘面の分布下限高度.

(鹿島,1982:小櫃川流域と養老川流域の更新世末期以降の地形発達史、地理学評論)



氷期・間氷期の影響を受けた谷

- 丘陵の地形には歴史が刻まれている
- これは地史的景観であり、価値である
- 最上流部の水流のない谷（化石谷）
は地史的産物
- 化石谷は地下水を涵養している

河床の遷急線

- 泥層（不透水層）が形成した遷急線
の場合は、地下水流出域である可能性

御腹川ではどうなっているか、地質起源
か、氷期・間氷期サイクル起源か？



水は暮らしの安全・安心を担保

我々はどこから
水を得ているのか

広域水道：

利根川、渡良瀬川、
鬼怒川上流の水源ダム
基底流量の強化により
都市用水を創造



近代文明の恩恵

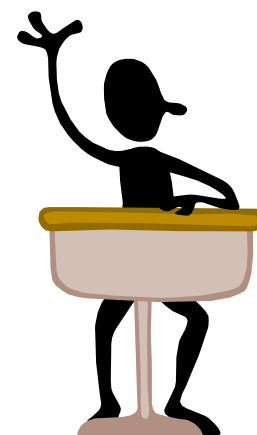


(千葉県水道局ホームページより)

文明のコスト 様々な社会資本（国交省所管）の耐用年数

対象事業	対象範囲	耐用年数	
道路	直轄・補助・地方単独	道路改良	60年
		橋梁	60年
		舗装	10年
港湾	直轄・補助	係留施設	50年
		臨港交通施設	60年
		左記以外の施設	無限大
空港	直轄・補助	空港	50年
		航空路	9年
公共賃貸住宅	補助・地方単独	1949年以前着工	31年
		1950年代着工	31～36年
		1960年代着工	36～51年
		1970年代着工	51～61年
		1980年以降着工	61年
下水道	補助・地方単独	管きょ	50年
		処理場	33年
都市公園	直轄・補助・地方単独	43年	
治水	直轄・補助・地方単独	河川	無限大
		ダム	80年
		砂防	67年
		治水機械	7年
海岸	直轄・補助・地方単独	50年	

維持費と、
更新費用
が必要...



- ・道路改良には、トンネルを含む。
- ・公共賃貸住宅の1950～70年代間の耐用年数は、平均して伸びていくものとした。

(H17国土交通白書より)

我々は**近代文明**の恩恵を受けて暮らしている

近代文明はコストの高いインフラによって維持されている

インフラは維持・更新しなければならない

安心とは、複数の選択肢があること

遠くの水と近くの水
どちらも大切

近くの水とは**地下水**

注)これは都市生活者に対するメッセージ

近代文明と我々の関係



ここは旧計画的避難区域
一代で開拓した牧草地
牧場主は元の山林に戻すことを決めた

問題の解決,合意形成に必要な三つの観点

解決 $\equiv$ 諒解

共感

人と対峙し、問題を
“わがこと化”するこ
と:関係性の認識

共感基準

理念

めざすべき社会の
あり方を共有ある
いは尊重すること

原則基準

合理
性

現象認識におい
て科学的合理性
に基づくこと

有用基準

「科学的」とはどういうふうとだろうか

身の回りの放射線被ばく

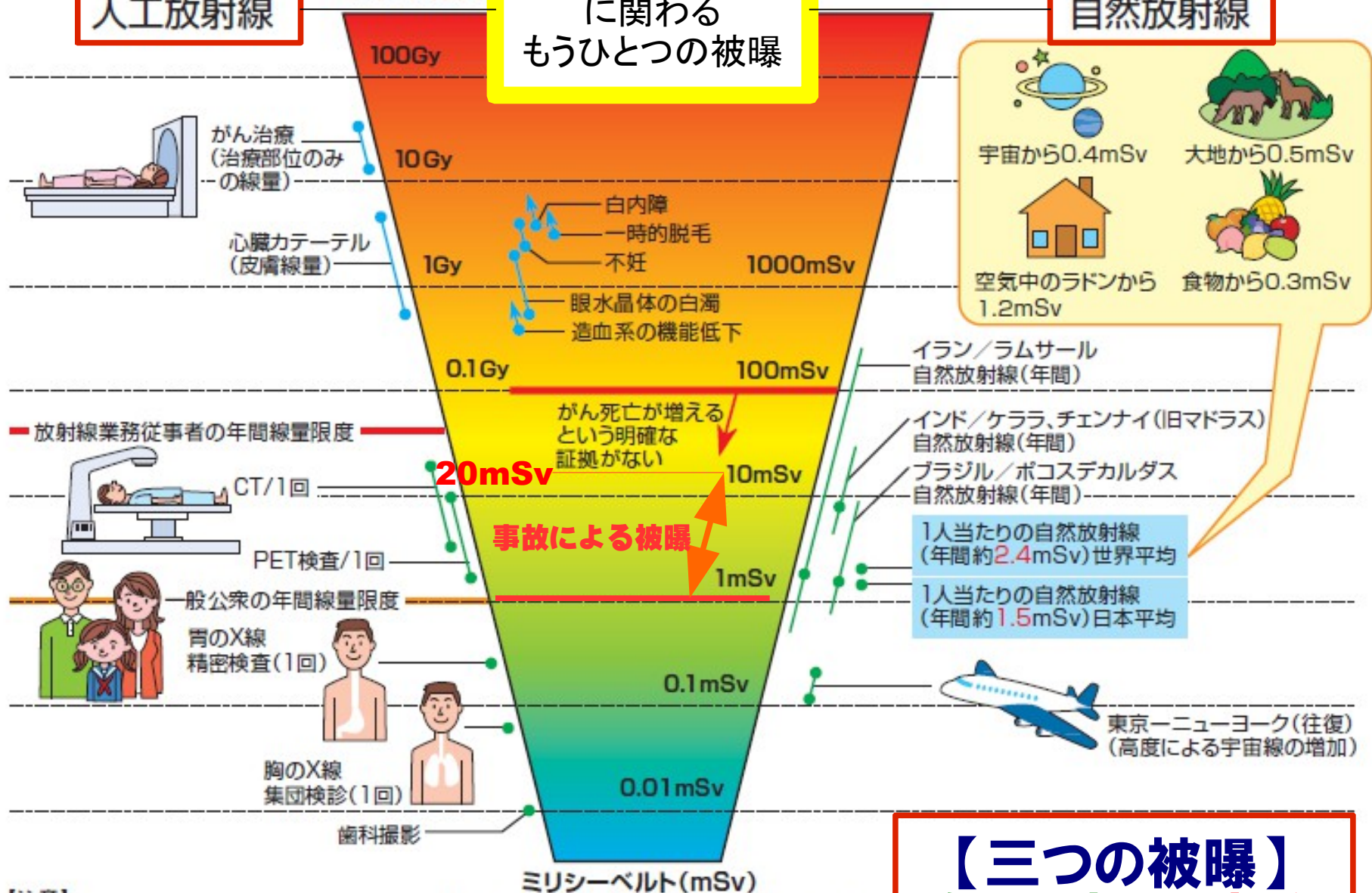
人工放射線

グレイ (Gy)

理解のレベル
に関わる
もうひとつの被曝

どれくらいの

自然放射線



【三つの被曝】
自然・意思・事故

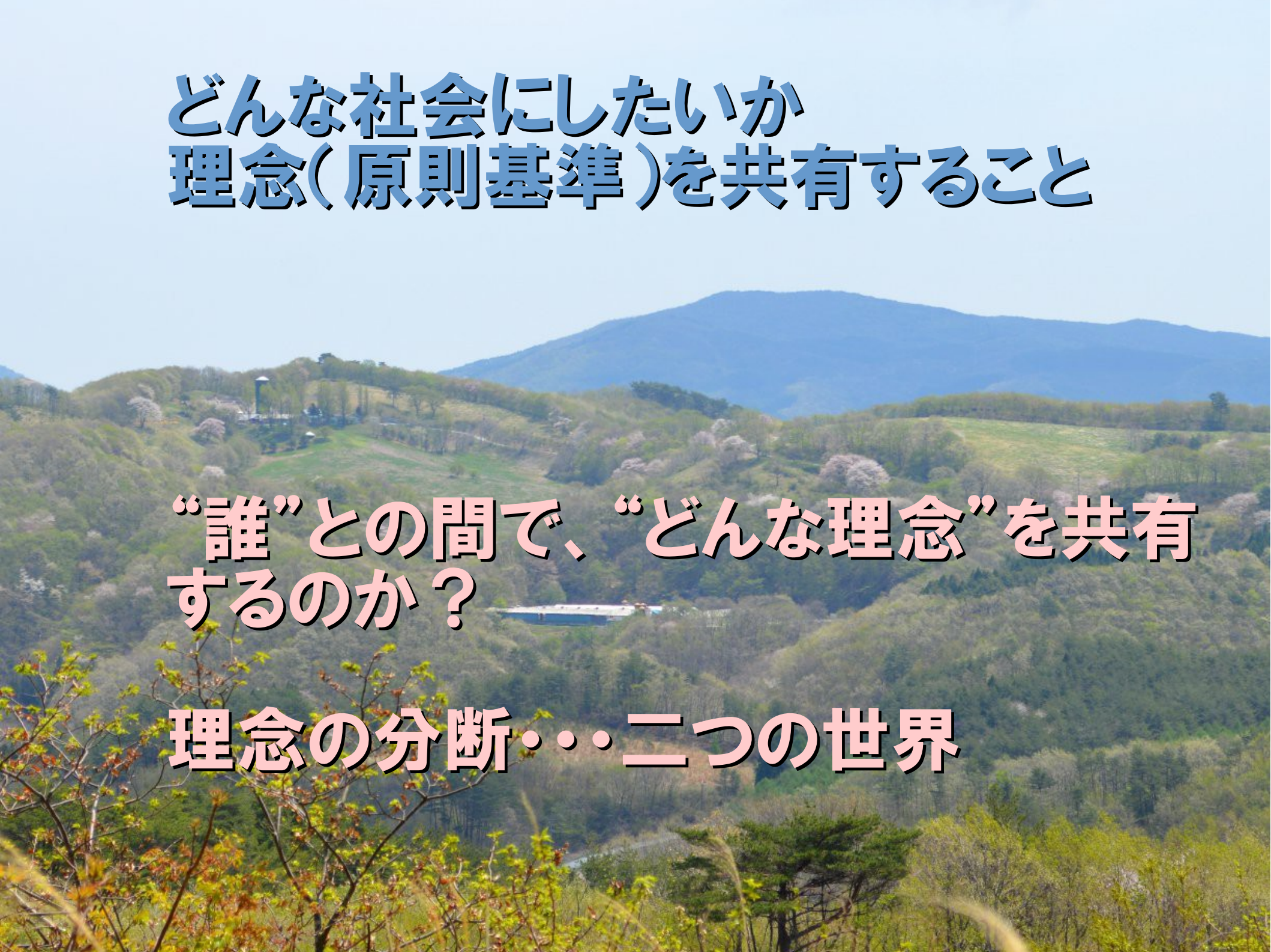
【注意】

- 1) 数値は有効数字などを考慮した概数。
- 2) 目盛 (点線) は対数表示になっている。目盛がひとつ上がる度に10倍となる。

放射線が人に対して、がんや遺伝性影響^{*}のリスクをどれくらい与えるのかを評価するための単位

※ 遺伝性影響 (hereditary effects) とは、子孫に伝わる遺伝的な影響のことで、遺伝的影響 (genetic effects) が細胞の遺伝的な影響までを含むことと区別している。

出典: (独)放射線医学総合研究所
などより作成



どんな社会にしたいか
理念(原則基準)を共有すること

“誰”との間で、“どんな理念”を共有
するのか？

理念の分断・・・二つの世界



栗原 康 著

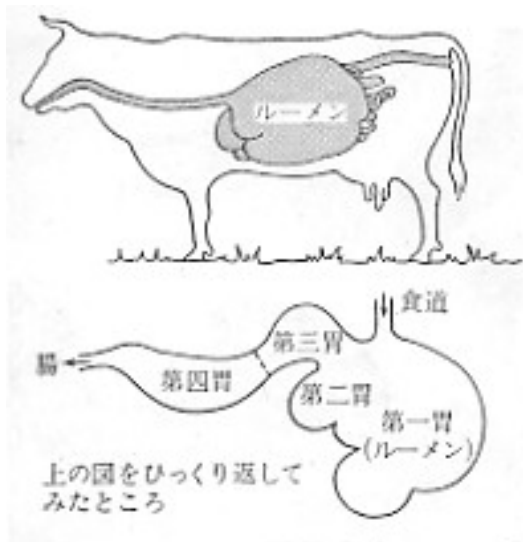
有限の生態学—安定と共存のシステム— 岩波新書949(絶版)

二つの世界

共栄のシステム	牛のルーメン	石油文明
共貧のシステム	フラスコの中のミコロコズム	農村的世界
緊張のシステム	惑星間航行宇宙船	都市的世界

我々はどちらを選ぶべきか？

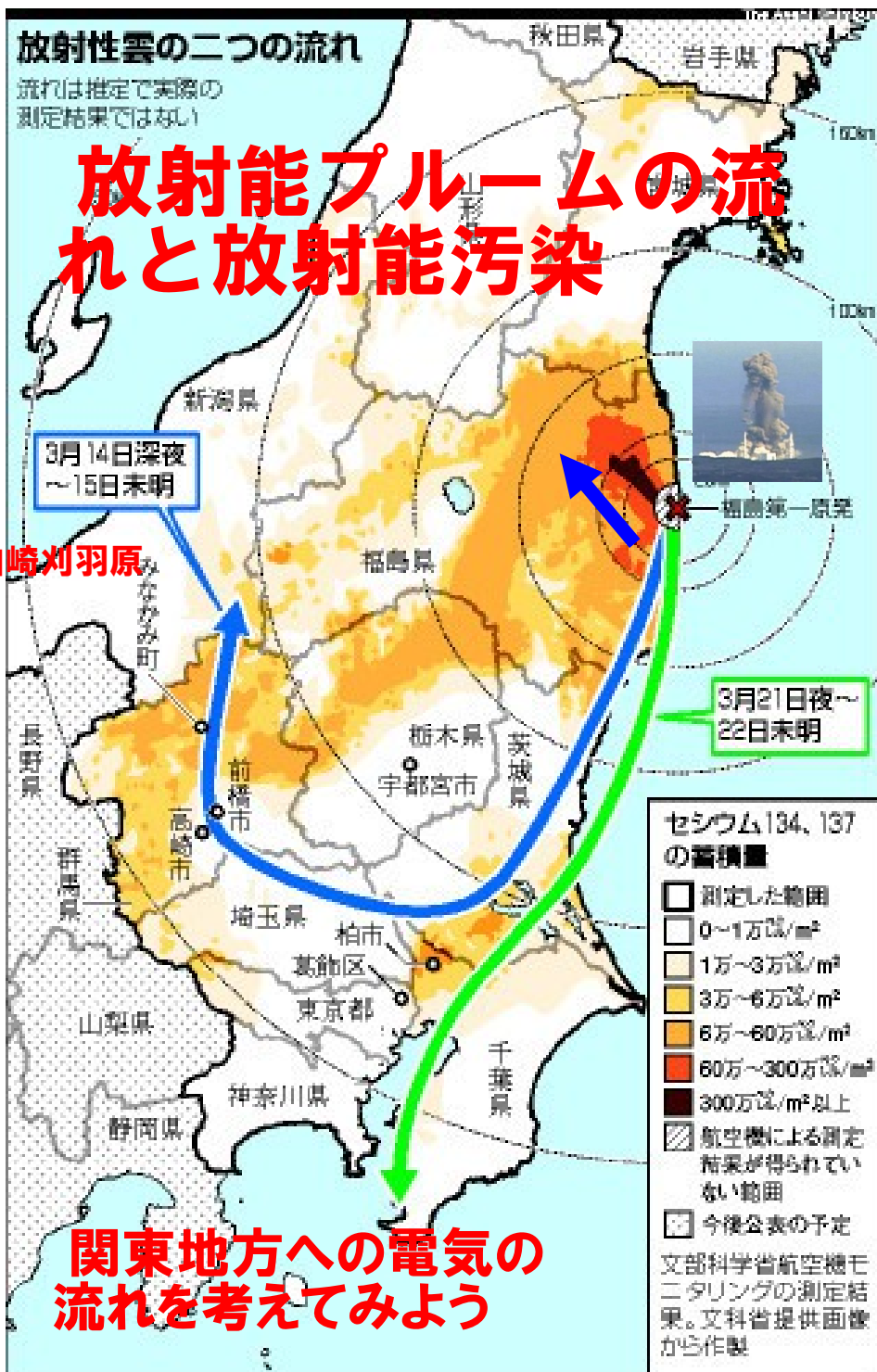
共貧のシステムと緊張のシステムの共存は可能か？



二つの世界を行き来できる精神的習慣

...生態学者の故栗原康は生態系を緊張のシステム、共栄のシステム、共貧のシステムに分類している。人間社会に敷衍すると、石油に依存する共栄のシステムは破綻しかかっている。残された選択肢は共貧のシステムと緊張のシステムだが、農山漁村における“共貧のシステム”(市場経済のもとでの“貧”であり、“不幸”ではない)と、世界に顔を向けた高度管理型都市の“緊張のシステム”を相利共生(片利共生ではなく)させることはできないだろうか。重要な点は両者を自由に行き来できる精神的習慣を現代人が持つことである。(3月25日記)

二つの世界を行き来できる精神的習慣
二つの世界の分断は修復可能か



(朝日新聞より)

分断の原因：関係性の喪失

事故と私たちの関係

電気料金値上げ！

私たちには関係ないことなのに!! (2011年5月)

@首都圏の住民と福島の関係ー社会学から

ベネフィットは首都圏！リスクは福島！

受益者・受苦者問題

@なぜ関係ないと考えられるかー哲学から

市場経済(資本主義)の仕組み

お金に価値を変換して関係性を断つ！

@流域の向こうから電気を得る首都圏

柏崎刈羽原発

JR東日本の信濃川発電所問題

● 関係性を認識すること

● そのためにやること

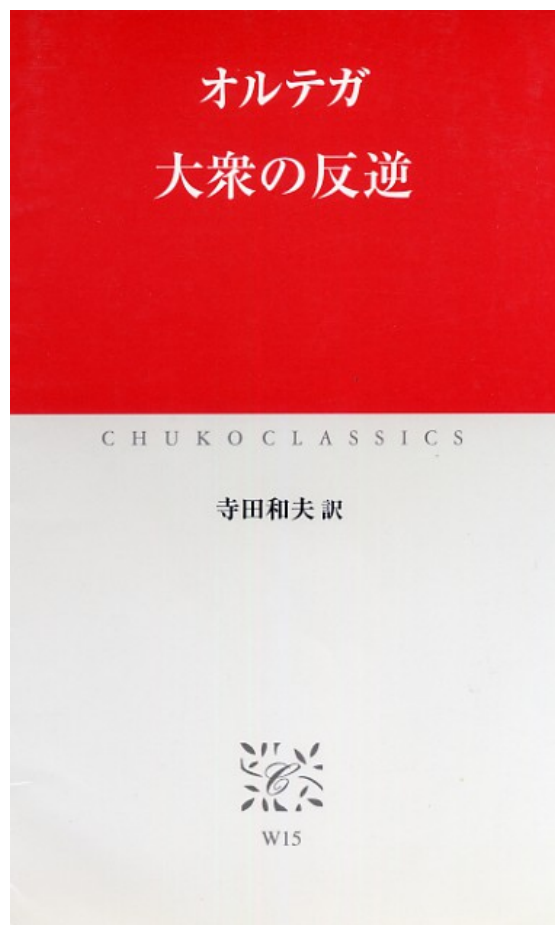
社会の組み替え？



何を信じていいかわからない
おれは文系だからわからない

近代文明人とは

文明社会の野蛮人仮説(オルテガ、小林信一)



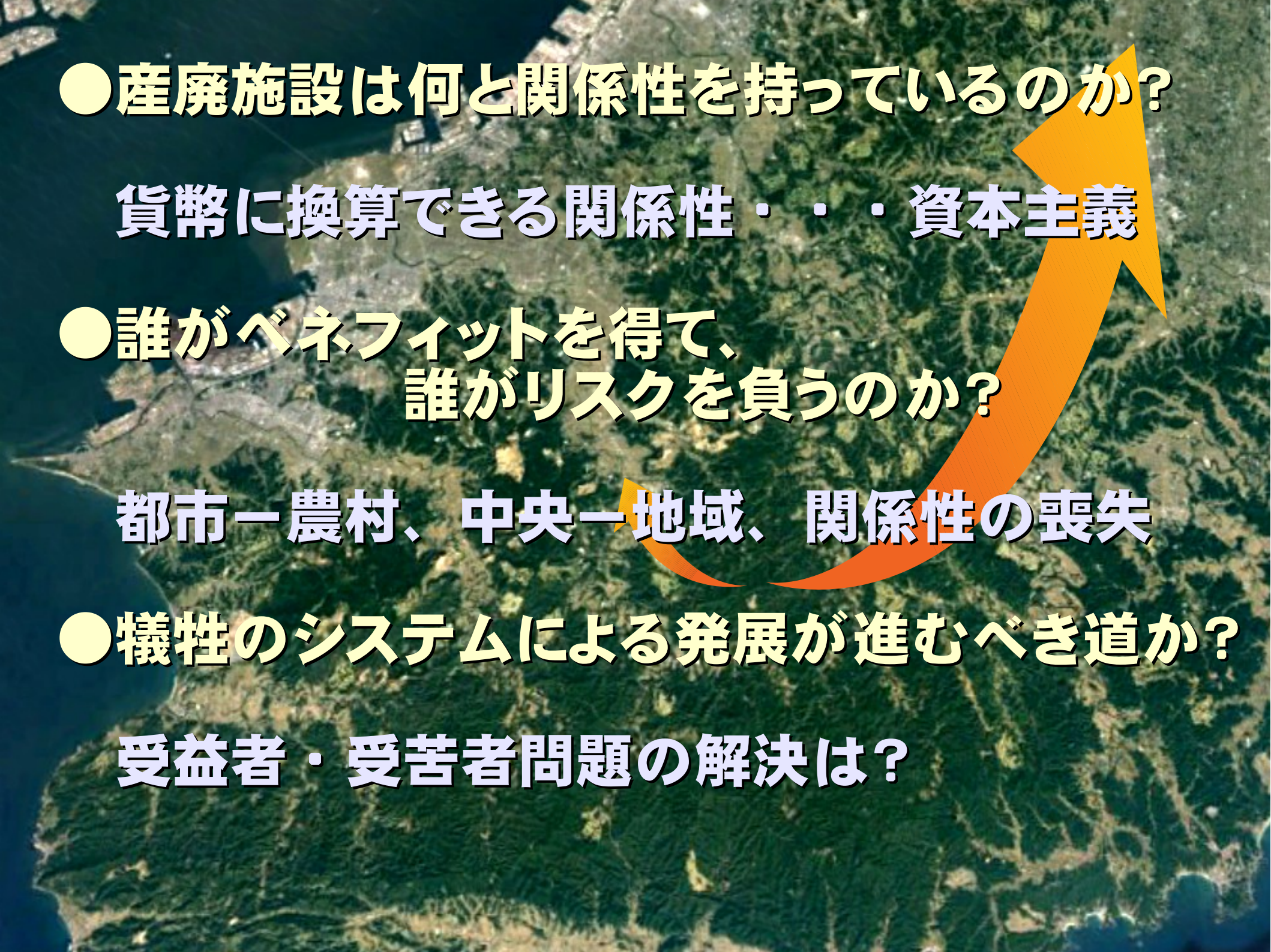
近代文明が誰のどんな努力によって成り立っているのか、どのような仕組みで動いているのか、どんなコストを払っているのか．．．
これがわからなくなると文明は衰退する

原子力の恩恵を受けるためには原子力について知り、監視できる能力を持つことが近代文明人としての正しい態度ではないか

原子力の管理を人任せにするということは？



近代文明の衰退



●産廃施設は何と関係性を持っているのか？

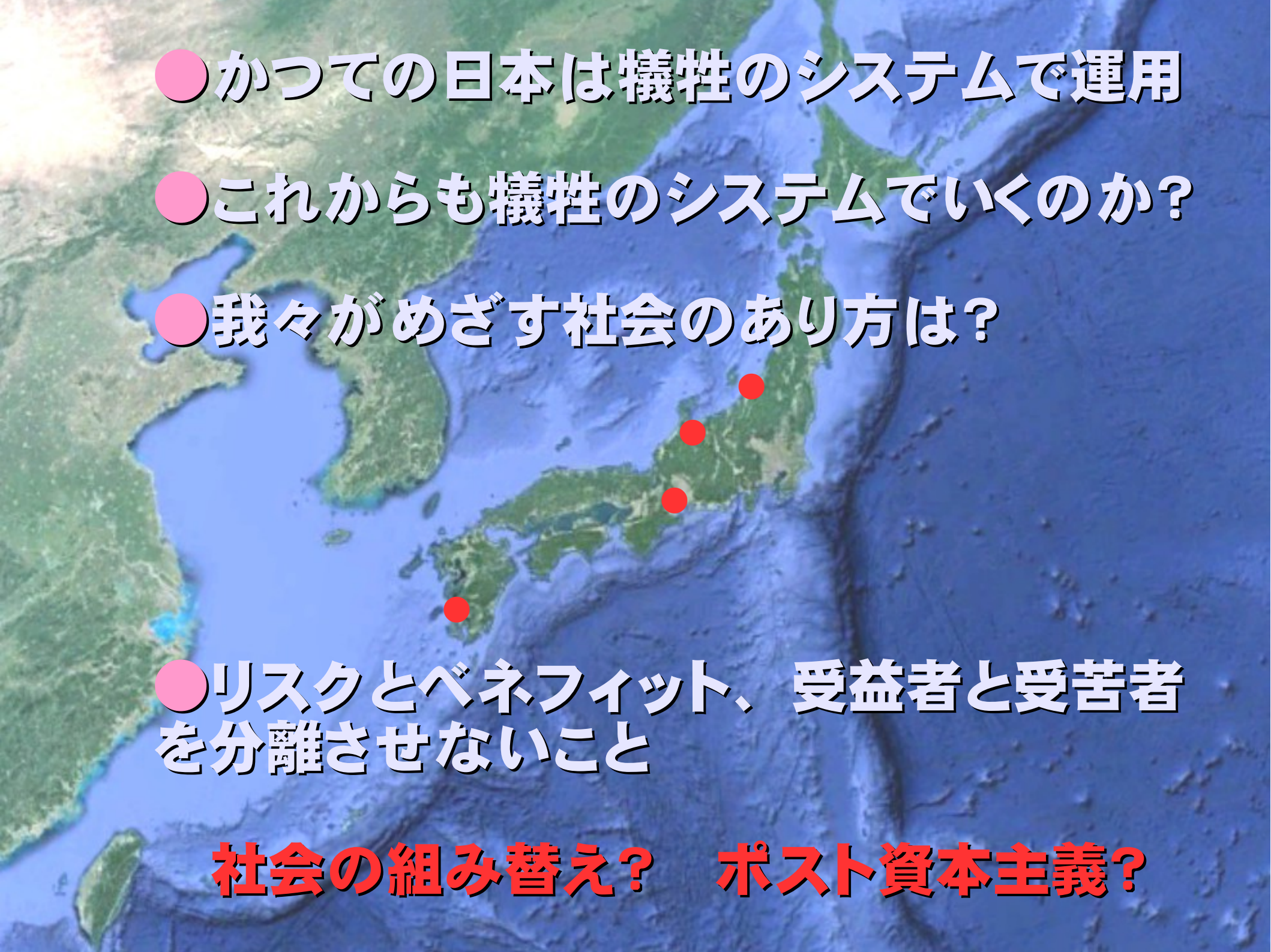
貨幣に換算できる関係性・・・資本主義

●誰がベネフィットを得て、
誰がリスクを負うのか？

都市－農村、中央－地域、関係性の喪失

●犠牲のシステムによる発展が進むべき道か？

受益者・受苦者問題の解決は？

- 
- かつての日本は犠牲のシステムで運用
 - これからも犠牲のシステムでいくのか？
 - 我々がめざす社会のあり方は？

● リスクとベネフィット、受益者と受苦者を分離させないこと

社会の組み替え？ ポスト資本主義？

市民科学のすすめ・・・残された方法

市民科学としての、地域の科学が市民の時代を創る

地域の地形、地質、生態系、水循環は文化的景観を構成する価値

価値の認識が広まることが、地域を守る力になる

人と自然が分断したところに、犠牲のシステムが入り込んでくる

市民科学の成果を論文としてまとめ、成果を様々なコミュニティと共有

市民による科学的知見の創出

研究者との協働・・・Future Earth

おしまい