

# そらからみた印旛沼 かな？

～未来へのメッセージ～

**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

# 自己紹介

私は何者?

1980 千葉大学理学部地学科卒  
「不圧地下水の賦存機構－武蔵野台地における関東ローム層中に帯水する不圧地下水について」

1985 筑波大学大学院博士課程地球科学研究科  
地理学・水文学専攻修了

同位体水文学

「Three-Dimensional Groundwater Flow System Estimated by Numerical Simulation and by Distribution Pattern of Tritium Concentration in Groundwater」

1985-1987	筑波大学文部技官	RSに出会う
1987-1993	東京都立大学地理学教室助手	RS/GIS利用研究の開始
1993-1995	筑波大学地球科学系講師	地球環境に関する研究
1995-現在	千葉大学環境リモートセンシング研究センター	

- ・ リモートセンシング 情報(技術)から環境(応用)へ
- ・ 環境問題 地域における人と自然の関係に関する問題の理解と解決

- ・ 環境学としての「地理学」への回帰
- ・ 地域を研究
- ・ 普遍性をベースに個別性を理解



# 未来へのメッセージー未来を展望する三つの方法



- 過去から現在を見ることにより未来を予測  
過去は現在の鏡  
歴史の中に、未来を読み解く鍵がある
- 現在を基準にして未来を予測する  
現在を初期条件としてモデルで未来予測  
コンピューターシミュレーション
- あるべき未来を想定し、そうなるように  
現在を変える

まず最初に、●の方法で昔を振り返り、  
その後で未来を●で考えることにしましょう

# 過去の印旛沼流域を理解

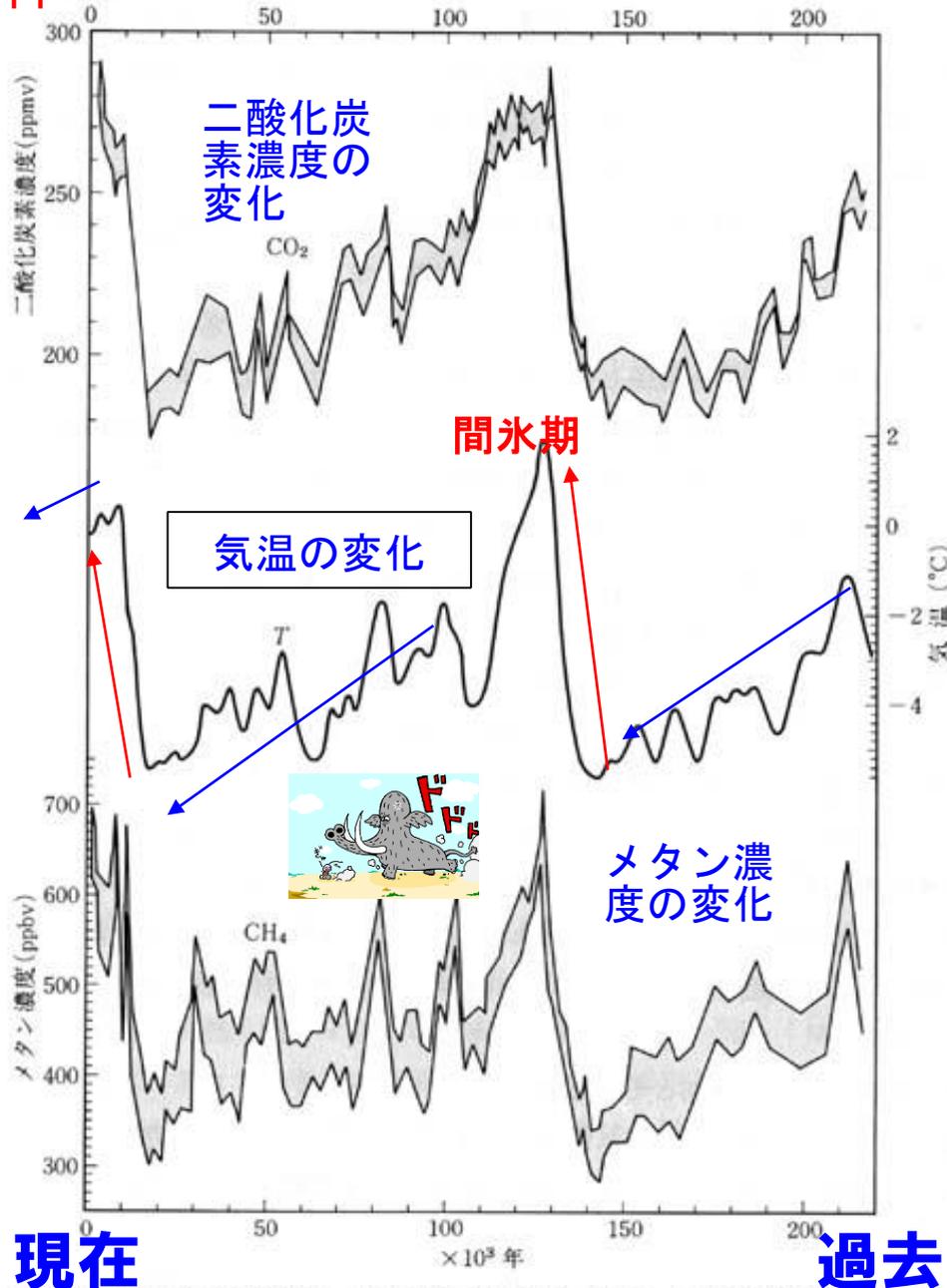
- 氷期・間氷期サイクル
- 行基図(拾芥抄)
- 利根川東遷

20万年前以降  
8世紀頃  
17世紀以降



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CO<sub>2</sub>濃度、気温、メタン濃度の変化。南極のポ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

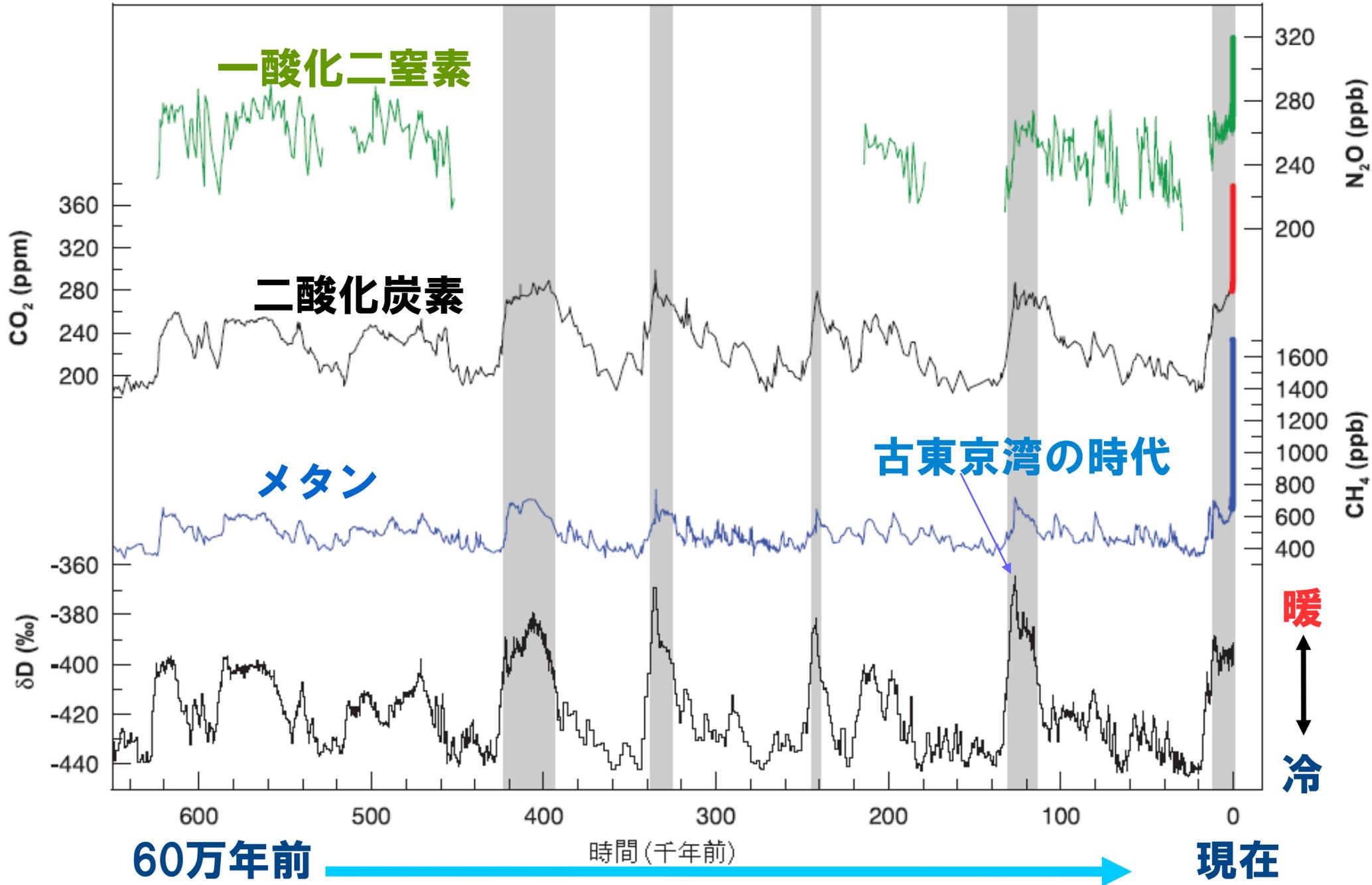
## 気温の変化⇒海水準の変化



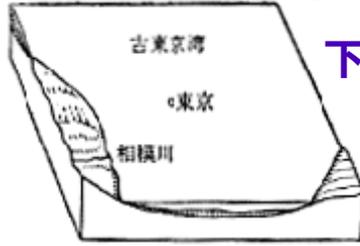
図13 旧石器時代の関東平野の原風景画（関東ロームの花粉分析の結果にもとづいたこの復元図は近く大きく変更されるかもしれない）

(環境考古学、安田喜憲、NHKブックス)

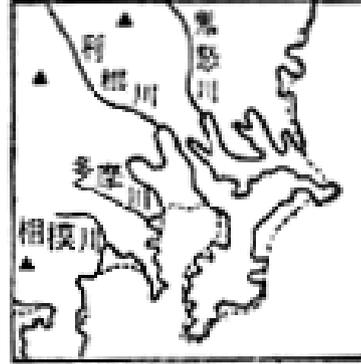
# 氷期・間氷期サイクルは過去何回も繰り返されてきた



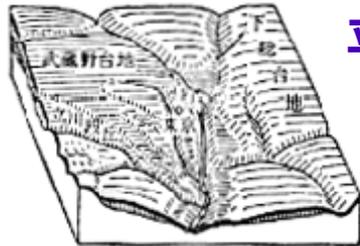
# 東京湾周辺の地形の形成



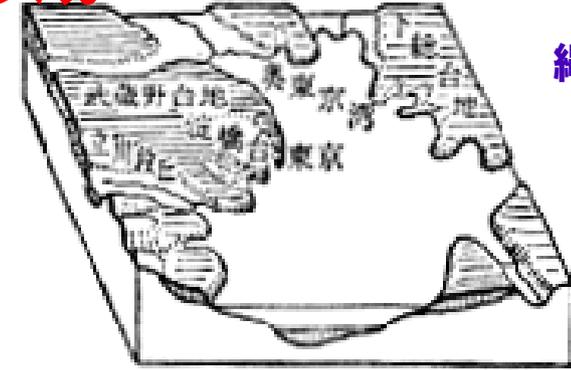
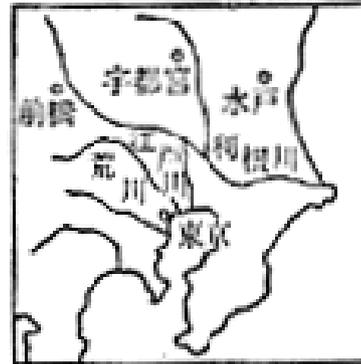
**下末吉期**  
(1) 下末吉期(S)  
12-13万年前



**武蔵野期**  
(2) 武蔵野期(M<sub>2</sub>)  
約6万年前



**立川期**  
(3) 立川期(T<sub>c3</sub>)  
約2万年前



**縄文前期**  
(4) 縄文前期  
約6000年前



**現在**  
(5) 現在

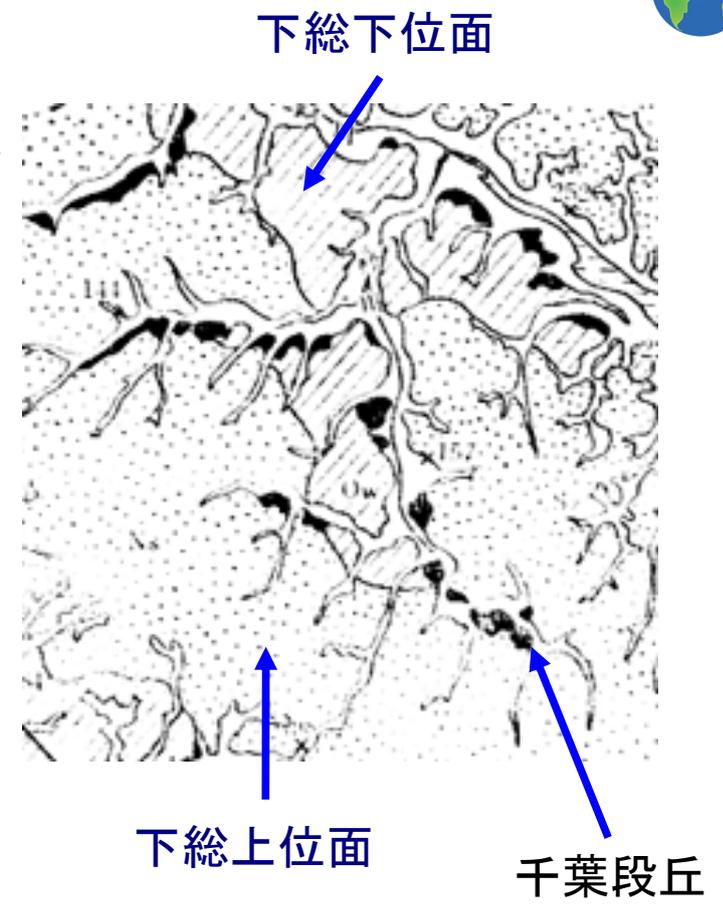
(貝塚、1977)

- 約13万年前、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**

杉原重夫(1970): 下総台地西部における地形の発達、地理学評論、43、703-718.



海水準の変動は地形を残した

約7万年前の河岸段丘

約13万年前の海底

約7万年前の海岸段丘

杉原(1970)によると下総台地は下総上位面と下総下位面および河川沿いの千葉段丘から構成される

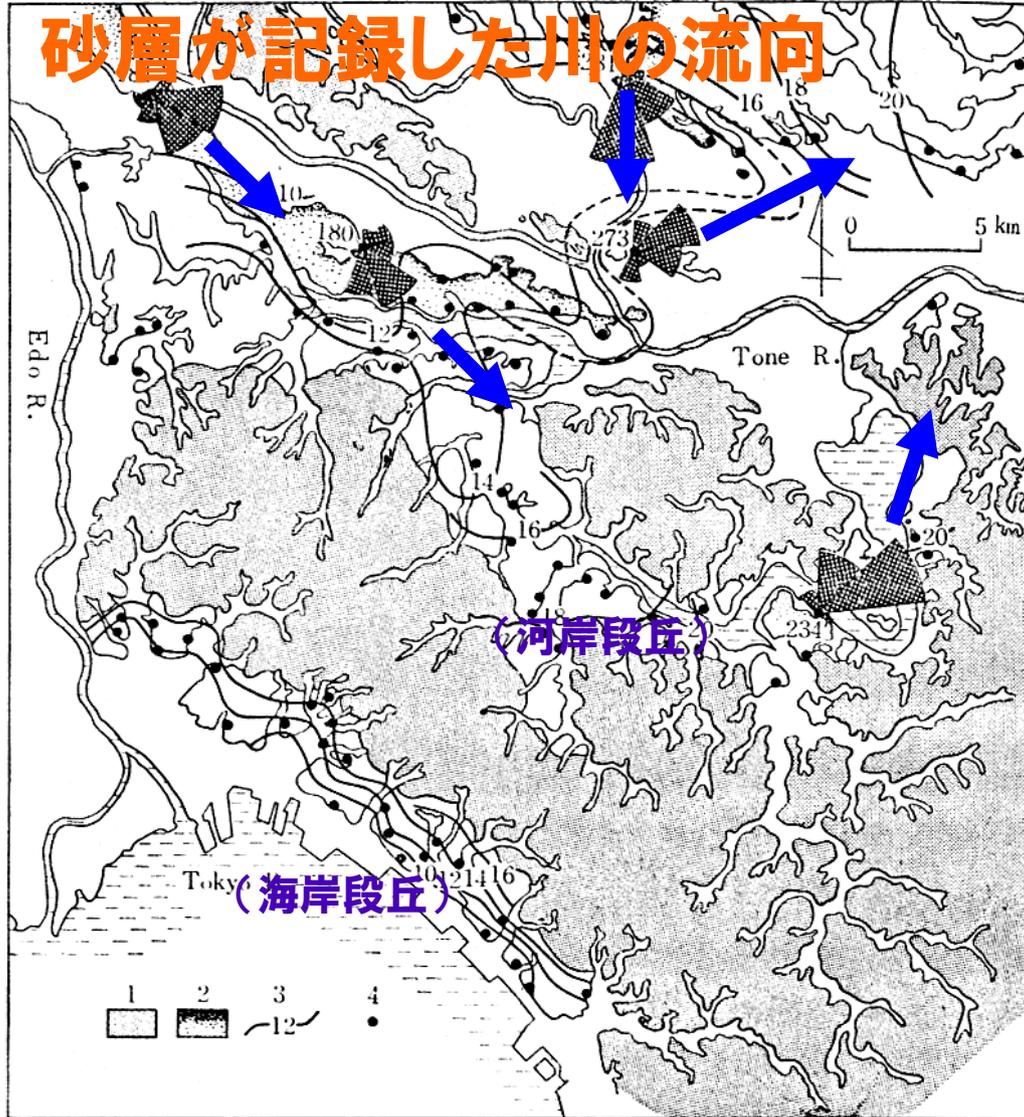
下総上位面 = 下末吉面 (約13万年前)  
下総下位面 = 武蔵野面 (約6万年前)

第1図 下総台地西部における地形面の分布

- 1. 下総上位面, 2. 下総下位面, 3. 千葉段丘, 4. 主な露頭観察地点,
- Ab: 我孫子, Chb: 千葉, Ed: 江戸崎, Fj: 藤代, Fn: 船橋, Ich: 市川, Kb: 小林, Km: 鎌ヶ谷, Ko: 木下, Ks: 柏, Mb: 馬橋, Mk: 幕張, Mr: 守谷, Mt: 松戸, Nd: 野田, Ng: 流山, Nr: 成田, Ns: 習志野原, Ow: 大和田, Rg: 竜ヶ崎, Sa: 志津, Sz: 栄町, Sk: 佐倉, Sr: 白井, Ss: 酒々井, Tsd: 津田沼, Us: 臼井, Ych: 八街, Yk: 四街道.

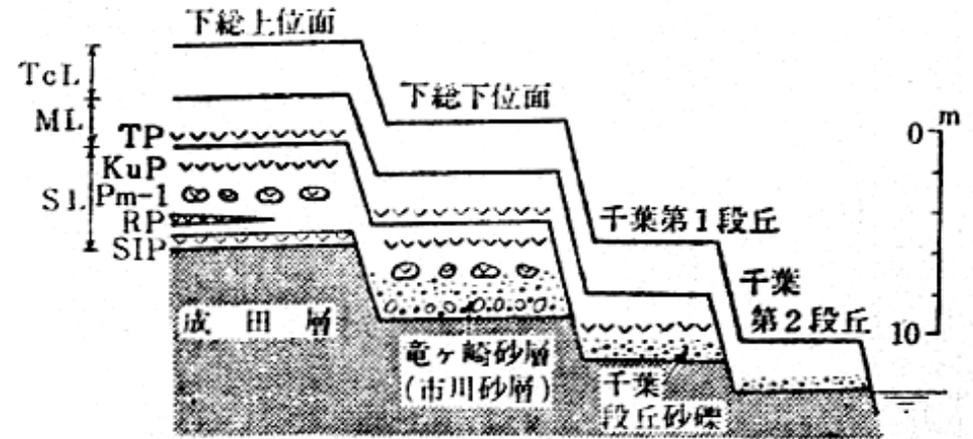
3) 関東ローム研究グループ (1956): 関東ロームの諸問題. 地質雑, 62, 302~316.

# 下総下位面には関東ローム層と成田層の間に竜ヶ崎砂層を挟む (武蔵野面)



第11図 竜ヶ崎砂層の基底面高度とそのcurrent rose

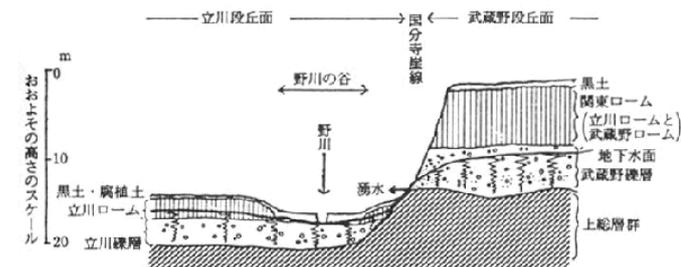
1. 下総上位面, 2. 下総下位面 (黒斑点は竜ヶ崎砂層の厚さが3m+の地域),
  3. 竜ヶ崎砂層の基底面高度 (単位m), 4. 主な露頭観察地点,
- current rose の各扇形の半形は、中心にあたる地点におけるラミナの方向性の頻度に比例させてある。各扇形の半形を合計した長さは100%にあたる。



第10図 下総台地西部の地形：地質概念図  
軽石層の記号は第2図と同じ。

約6万年前の海水準停滞期に東京湾側では海岸段丘、利根川（鬼怒川）側では古鬼怒川の河岸段丘として下総下位面が形成された

竜ヶ崎砂層と湧水の関係は？  
(武蔵野台地では武蔵野礫層が湧水の源)



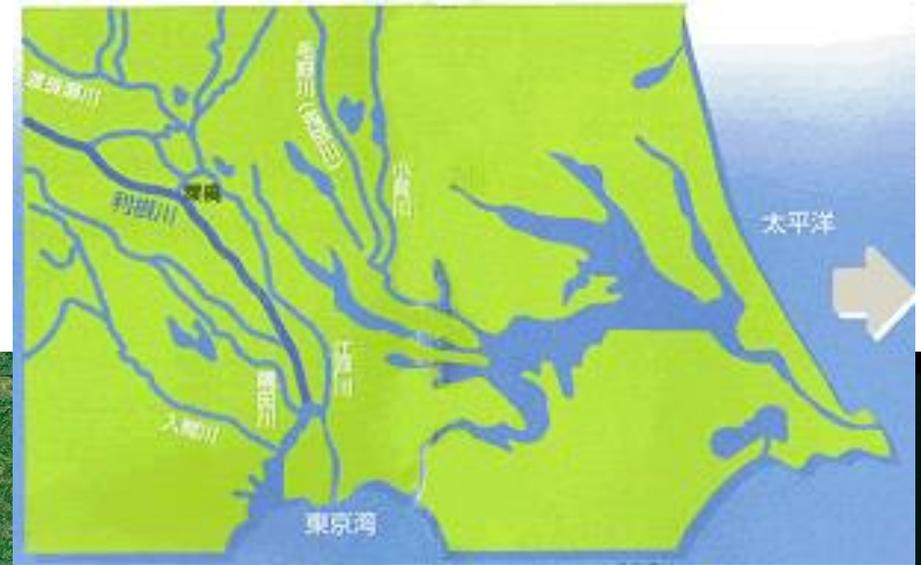
(注) ギザギザの記号は、地下水で飽和していることを示す。

双子公園のナウマン象の親子は何を見ていたのか

氷期の谷を想像してみよう！

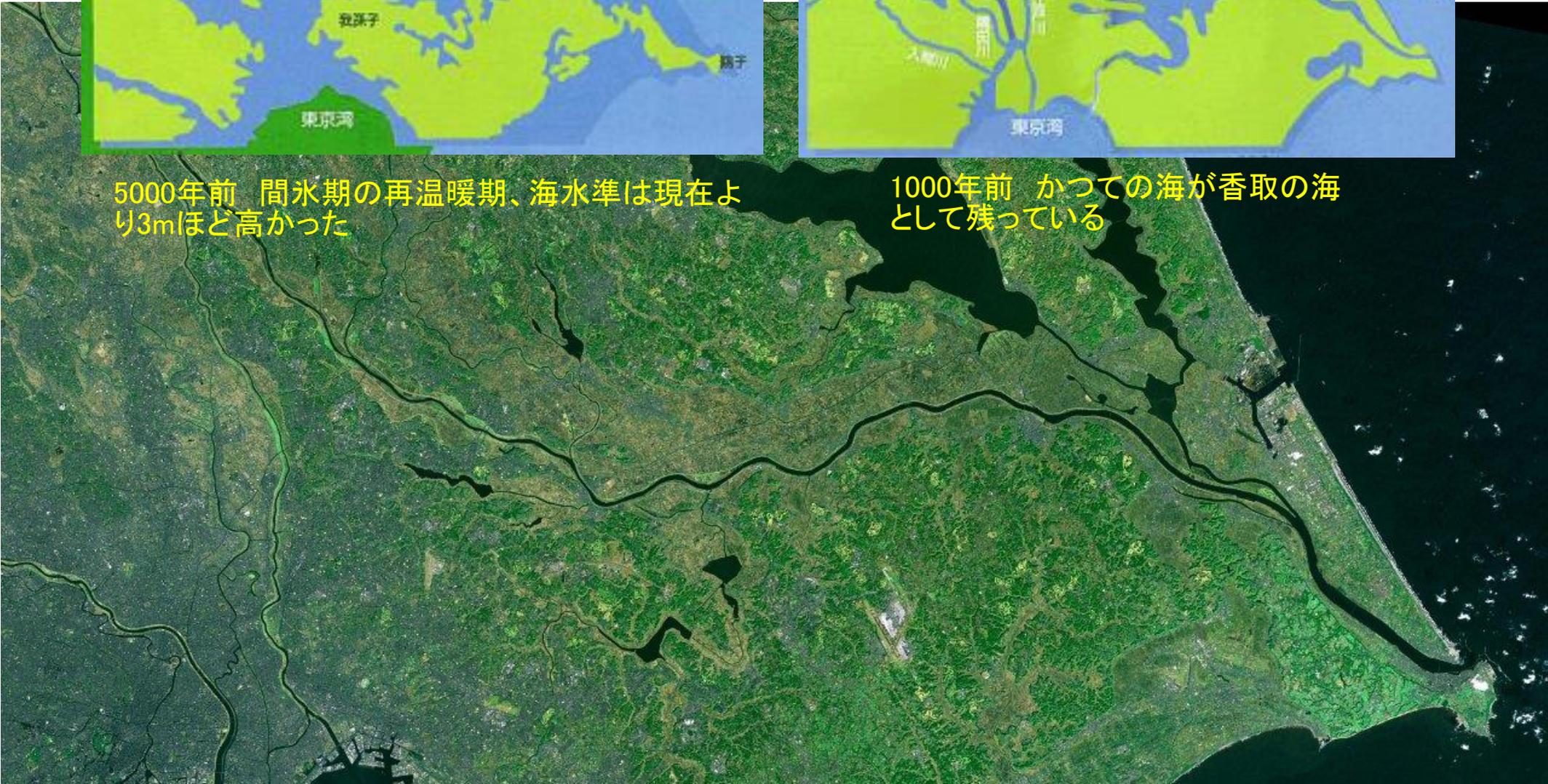


# 氷期が終わり、温暖化とともに海水準も上昇し、水域は埋め立てられていったが



5000年前 間氷期の再温暖期、海水準は現在より3mほど高かった

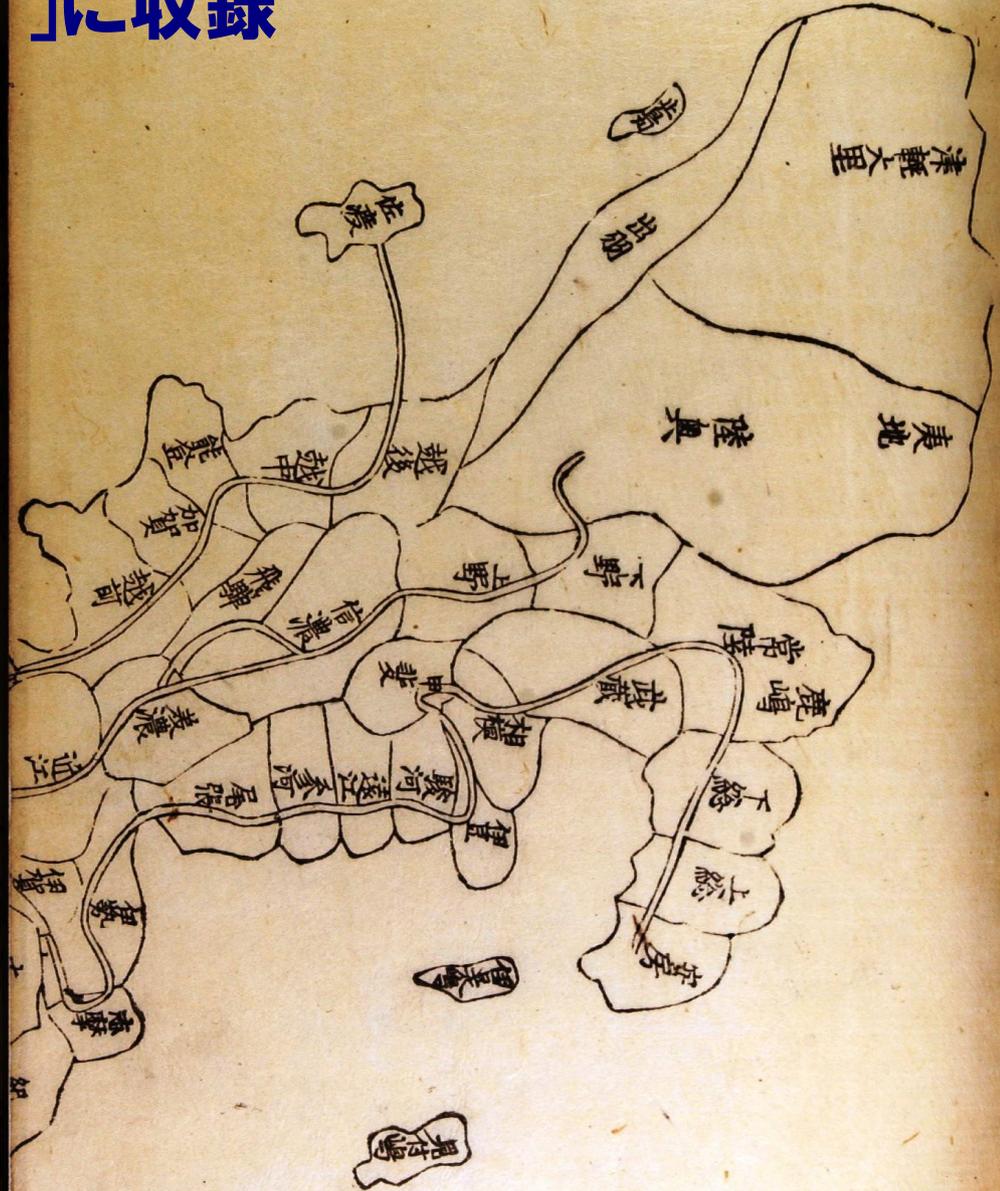
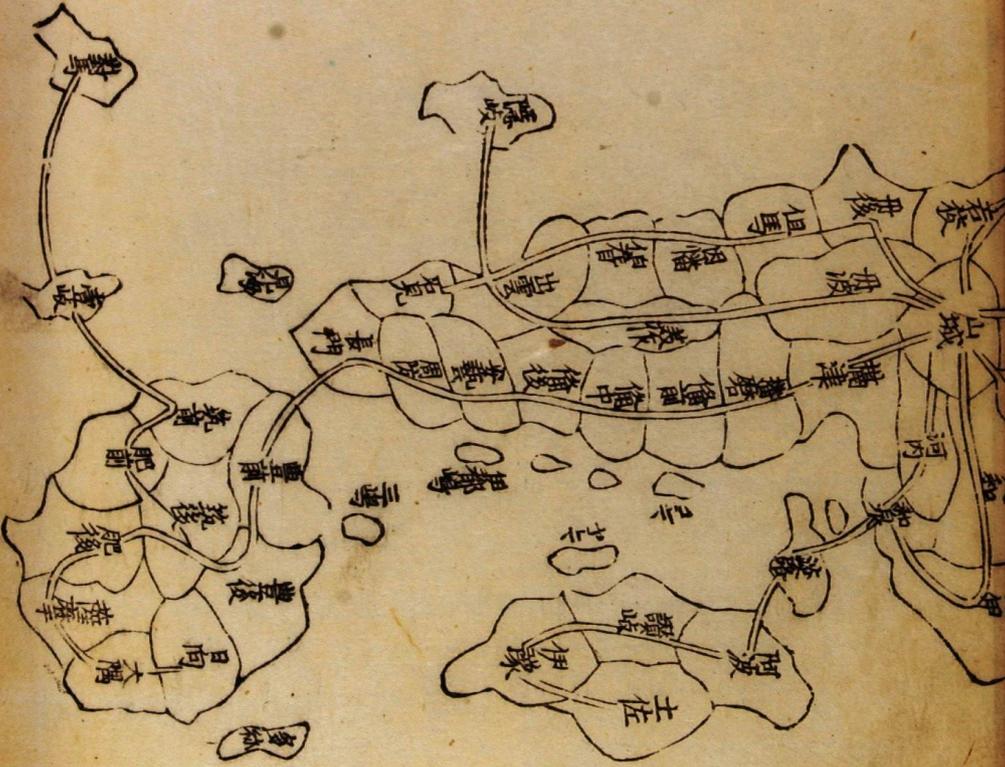
1000年前 かつての海が香取の海として残っている



# 行基図

現存する最古の日本地図。14世紀初頭に成立した百科全書「拾芥抄(しゅうがいしょう)」に収録

大日本國圖行基菩薩圖也此取如彼鉢頭仍佛法滿盛也  
 其政如至形故有金銀銅鐵等珍寶五穀豐稔也 七道州六十  
 六内嶋三郡六百四鄉一万三千余。  
 自京陸奥陸行程三十五百八十七里六町為 自京長門西  
 濱行程二千九百七十八里 六町為 一里定



# 徳川幕府—利根川東遷事業



- ・東北の物資を江戸に運ぶため
- ・江戸を水害から守るため

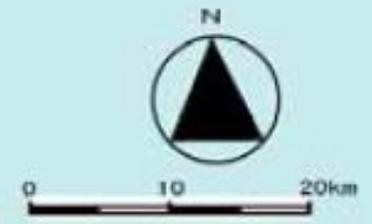


赤堀川開削の様子



利根川東遷は千葉県にどのような変化をもたらしたのでしょうか？

# 明治43年(1910年)8月台風による水害 庚戌(かのえいぬ)の大洪水



利根川の大洪水  
 明治43年(1910年)  
 昭和13年(1938年)  
 昭和16年(1941年)  
 昭和22年(1947年)  
 ⇒カスリーン台風

東葛飾郡(野田市など8市)  
 利根川の出水 約18尺  
 堤防決壊 66箇所  
 耕地浸水流失 4,390町歩  
 家屋浸水 2,719戸  
 家屋流失 53戸  
 全壊 21戸  
 半壊・破損 220戸  
 死者 5人  
 避難所 14箇所  
 収容人数 7,085人  
 出典:千葉県東葛飾郡誌

香取郡佐原町(香取市)  
 筭島堤防決壊により  
 家屋水没 1,000戸  
 稲田浸水 3,000余町歩  
 罹災民(於佐原小) 921名  
 出典:佐原市史  
 家屋浸水 1,190戸  
 家屋流失 2戸  
 出典:香取郡誌

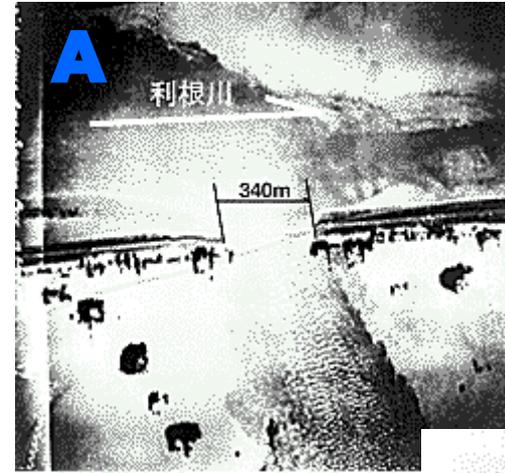
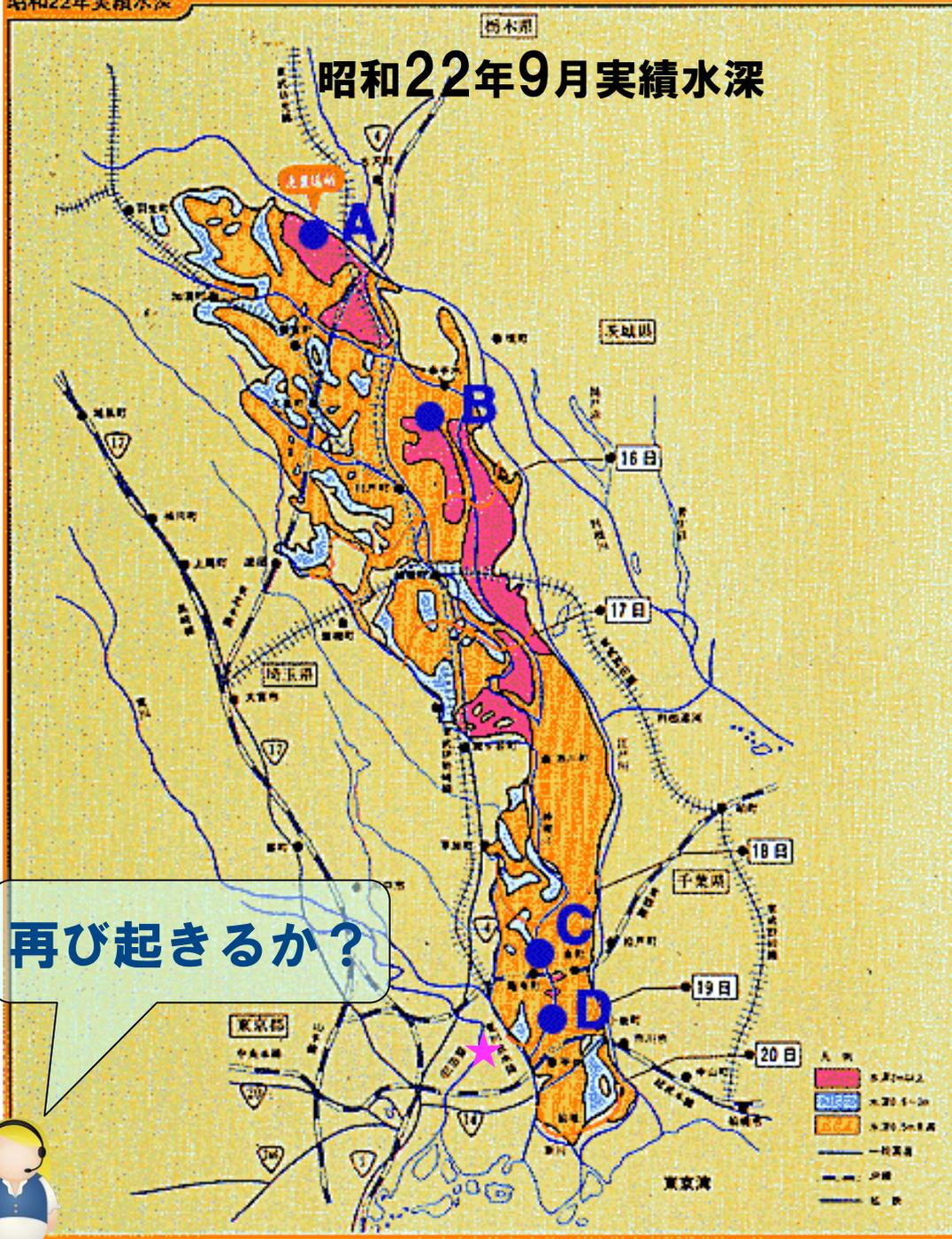
明治43年庚戌の大洪水による氾濫域  
 県境界

印旛郡布鎌村(印旛郡栄町)  
 将艦川の堤防決壊により全村が浸水  
 出典:千葉県立房総のむら提供の絵葉書

**4. 明治43年庚戌の大洪水による氾濫域**  
 埼玉県東部から東京都東部に広がる中川低地と利根川の中流域では広範囲にわたって氾濫しました。千葉県では印旛沼流域の上流である富里市や八街市まで洪水被害が及びました。  
 「利根川治水の成立過程とその特徴」(宮村、1981 URBAN KUBOTA19)を参考に作図

# カスリーン台風－利根川が決壊し、洪水が東京下町を襲う－

昭和22年実績水深



A. 埼玉県東村新川通りでは340mにわたり利根川の堤防が決壊した。(埼玉県大利根町)



B. 茫然と濁流を見つめる人々(埼玉県幸手市)



C. 濁流を見つめる人々(東京都足立区)



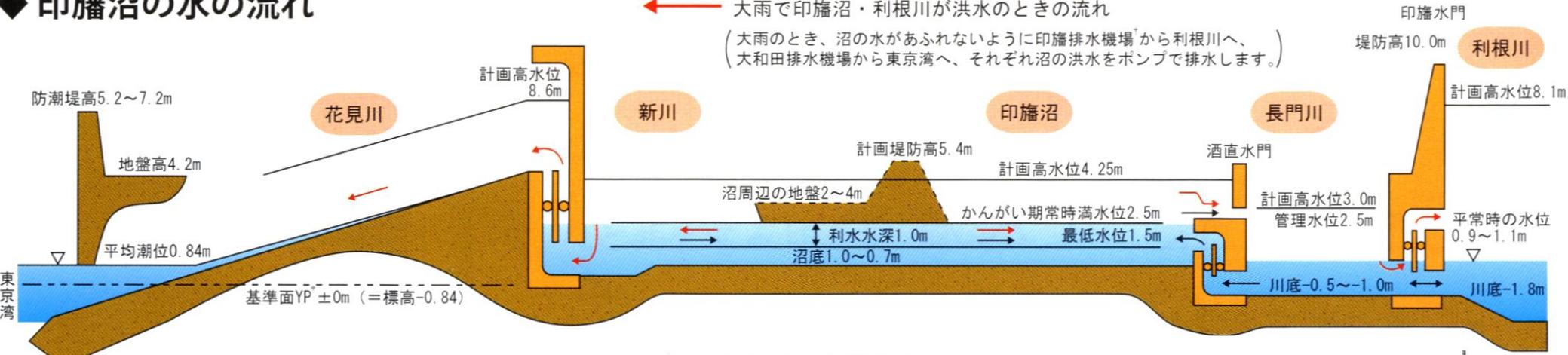
D. 濁流は都内へ(東京都葛飾区)

(国土交通省関東地方整備局)

# 洪水はコントロールされ、高度な水資源利用が計られた。

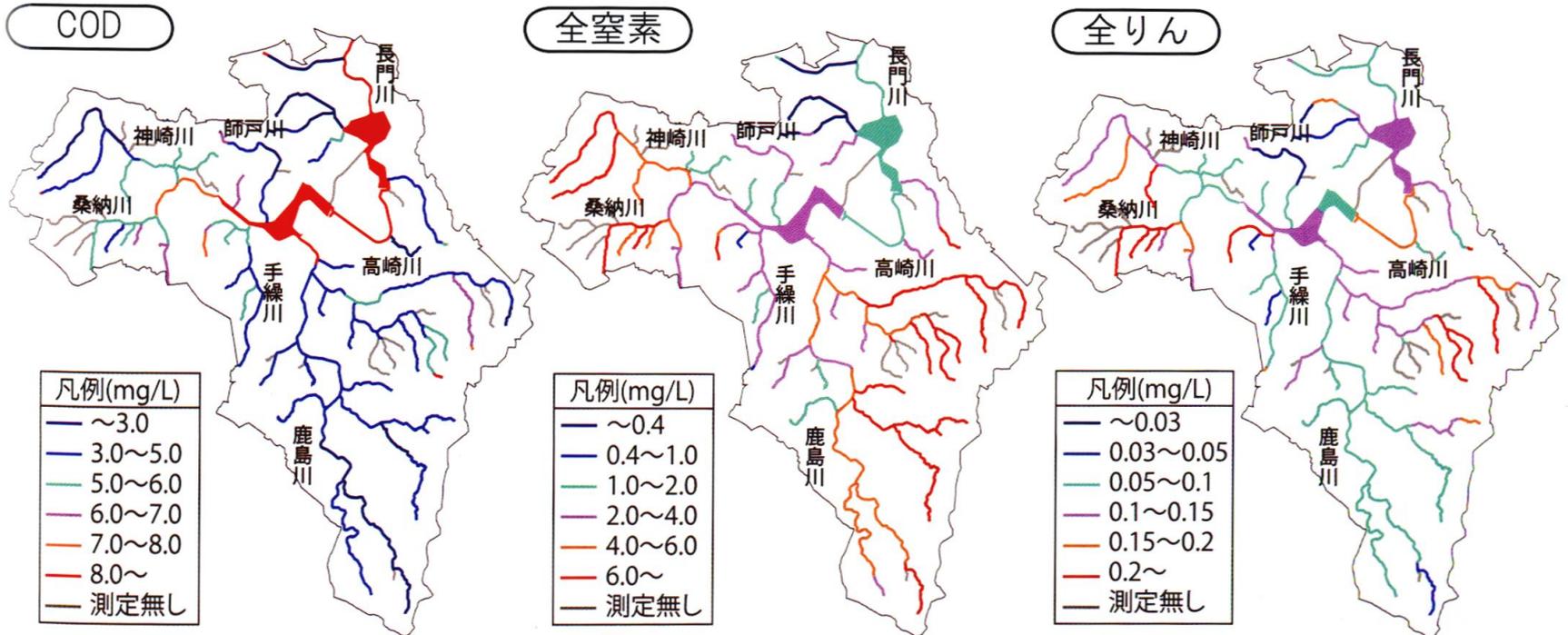
## ◆ 印旛沼の水の流れ

← 平常時（大雨でないとき）の水の流れ  
 ← 大雨で印旛沼・利根川が洪水のときの流れ  
 （大雨のとき、沼の水があふれないように印旛排水機場から利根川へ、大和田排水機場から東京湾へ、それぞれ沼の洪水をポンプで排水します。）



## 印旛沼の水質変化

平成二三年度の印旛沼の水質は全国ワースト1

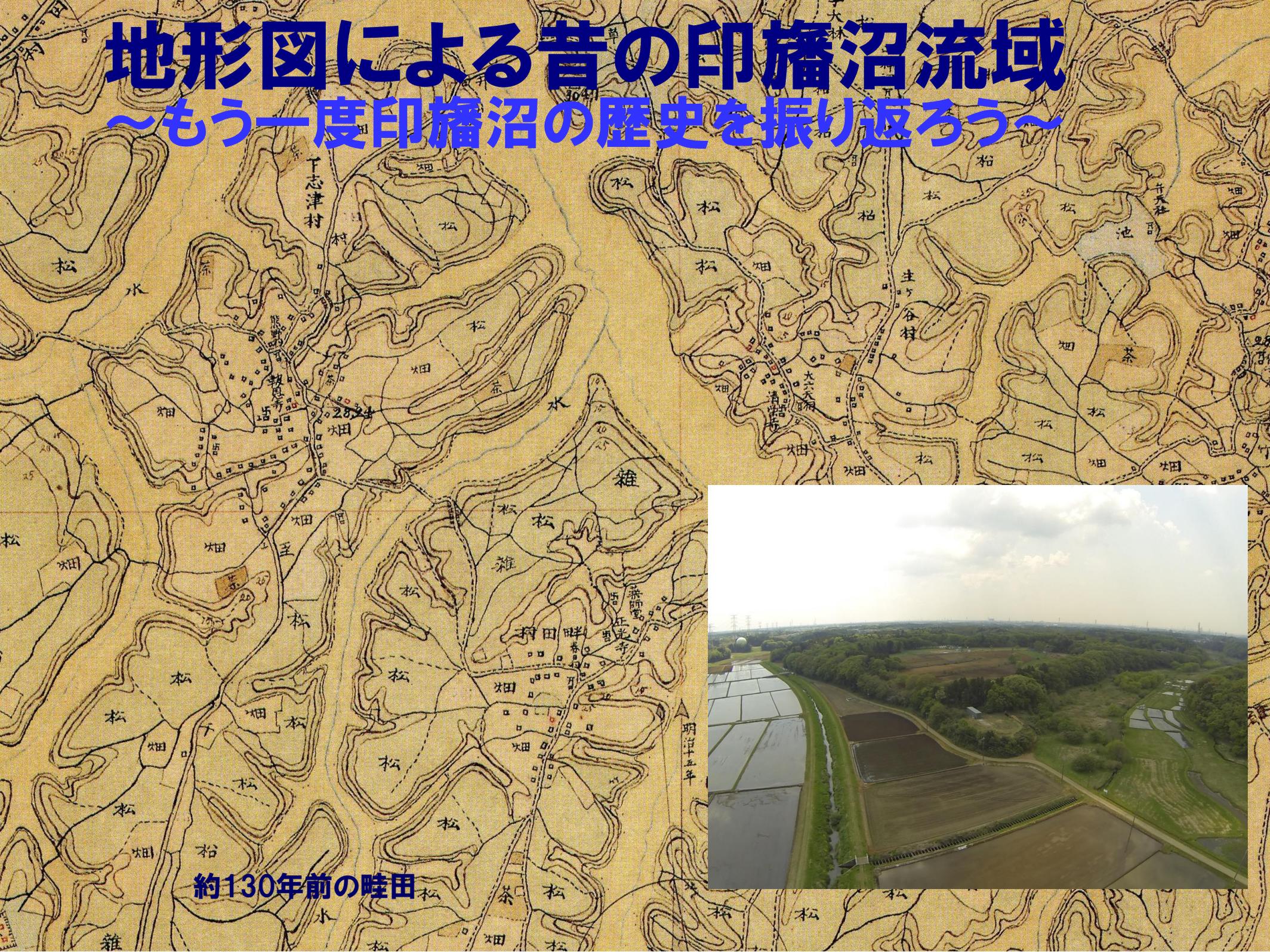


印旛沼、河川の水質状況（2008（平成20）年度平均値）

出典：千葉県、市町村測定データ

近代化のメリット・デメリット

# 地形図による昔の印旛沼流域 ～もう一度印旛沼の歴史を振り返ろう～



約130年前の畦田

# 地図作製の歴史

## 古地図

近代的測量ならびに印刷技術普及以前に作成された地図の総称。  
日本では江戸時代までの手書きあるいは木版画の地図を指す。

伊能図（国土地理院）



## 迅速測図（1880年頃～）

明治の初・中期に正式測図に先立ち、正規の基準点測量の成果を使用しないで作製された諸図の総称

- ・初期の彩色フランス式
- ・その後、単色のドイツ式



## 旧版地形図（1900年頃～）

国土地理院が発行している新刊地図に対して、過去に刊行あるいは作製して絶版になった地図



## 入手方法

国土地理院 <http://www.gsi.go.jp/MAP/HISTORY/koufu.html>

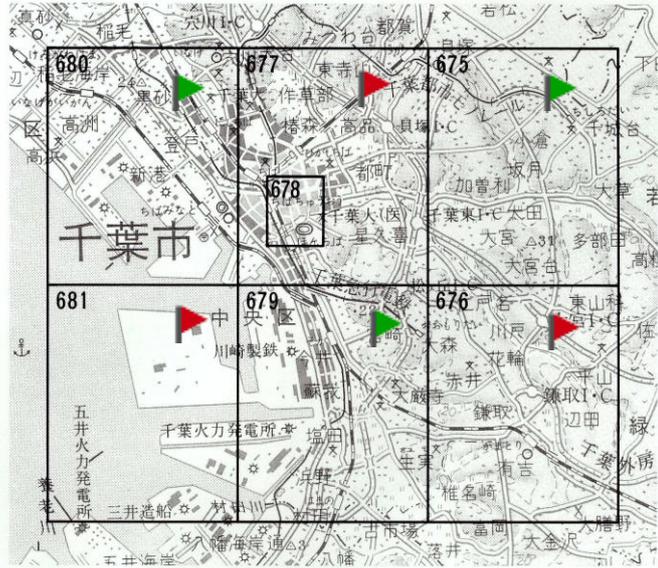
日本地図センター <http://www.jmc.or.jp/>



# 明治前期測量 2万分の1 フランス式彩色地図 —第一軍管地方二万分一迅速測図原図復刻版—



索引図



天守丘  
田中爲  
望之巖  
及坂地  
月尾多  
等諸村  
也  
諸目探  
村田大  
也相長  
草



千代崎千代神社



(1) 東山由三石地石



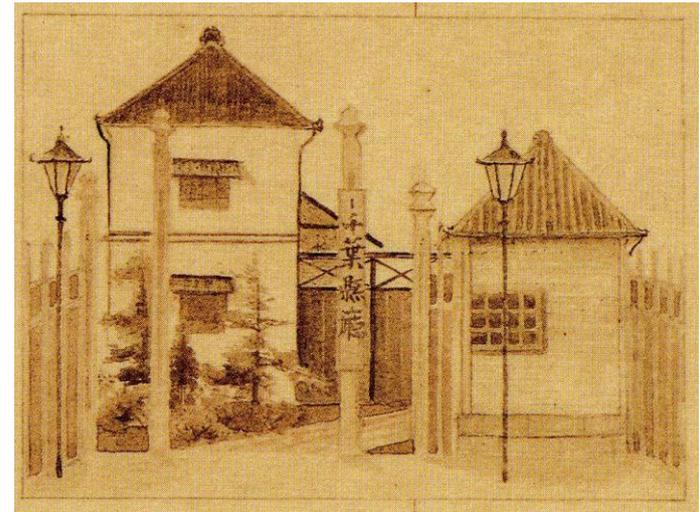
野田村道里  
(一分千)



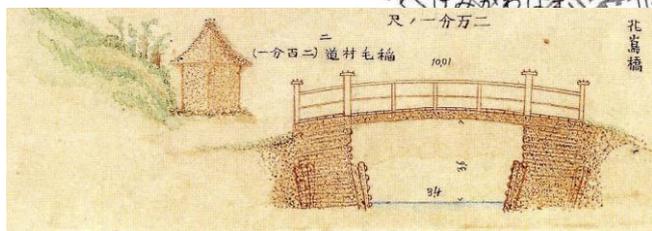
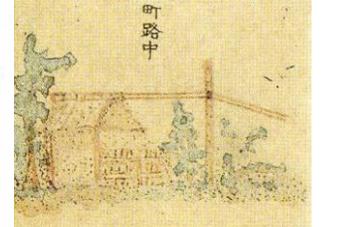
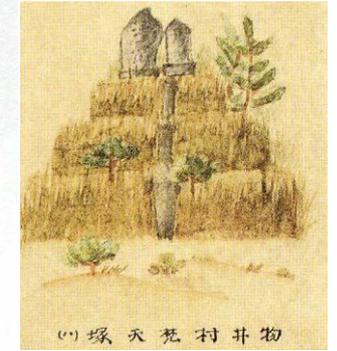
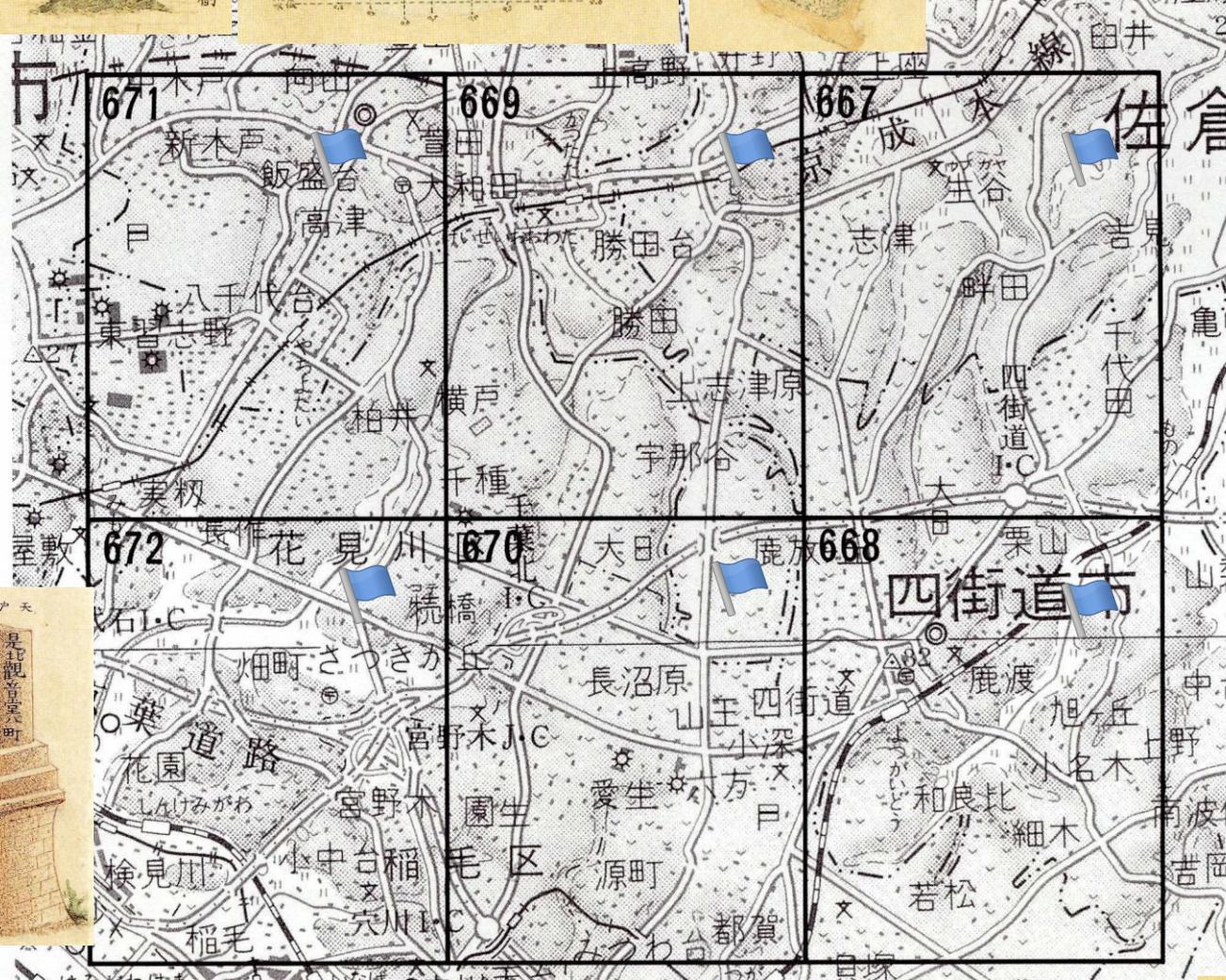
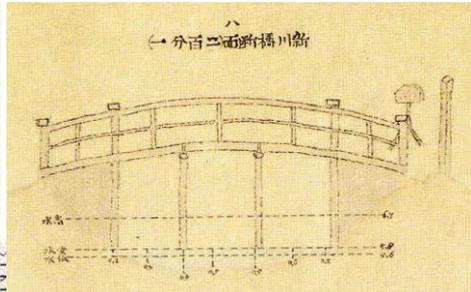
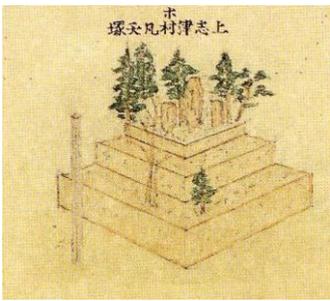
坂田村路傍  
松養供

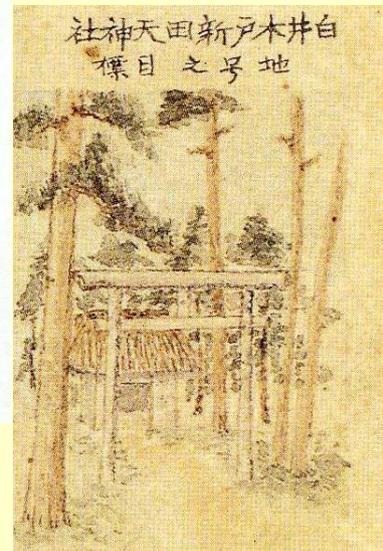
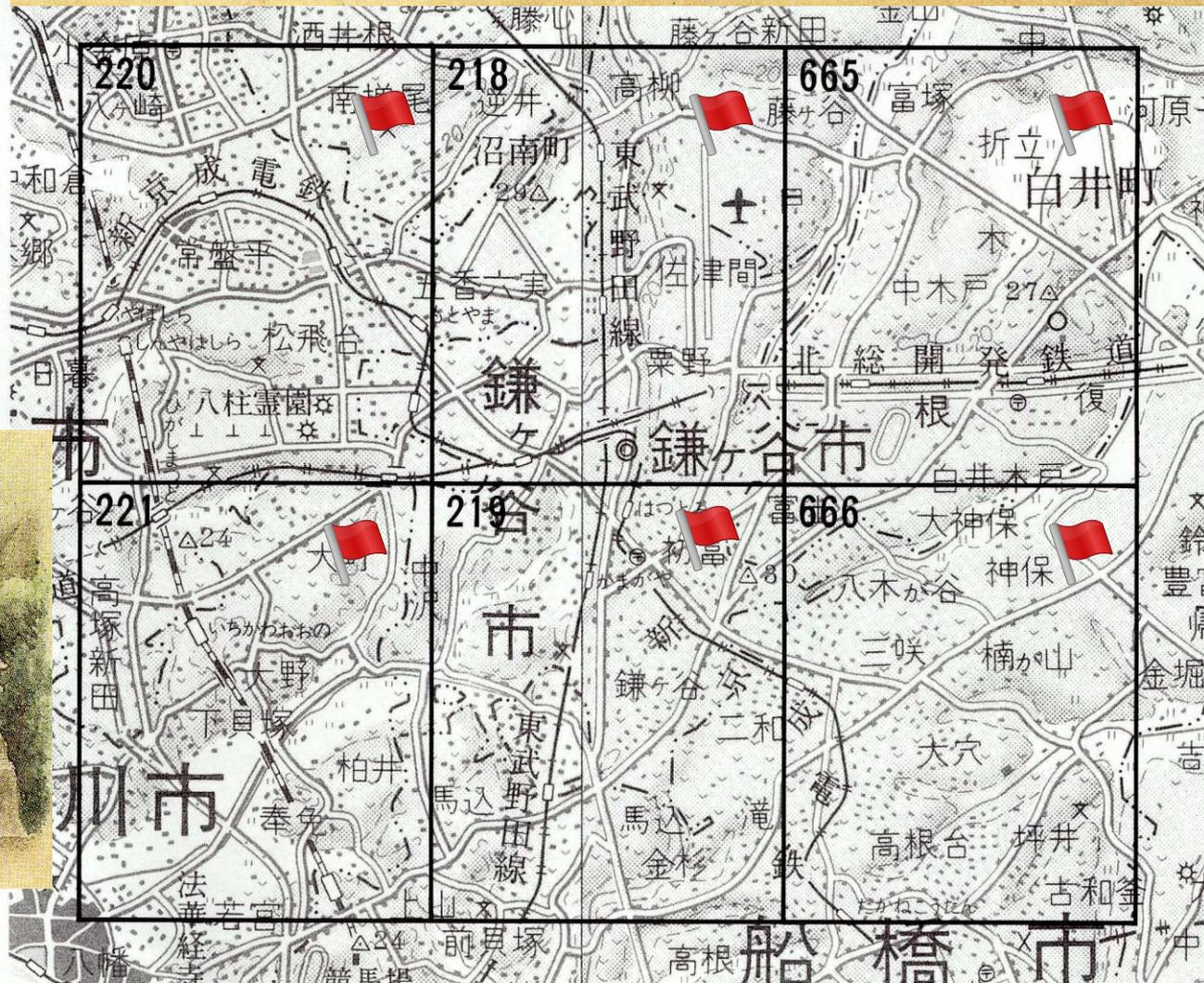
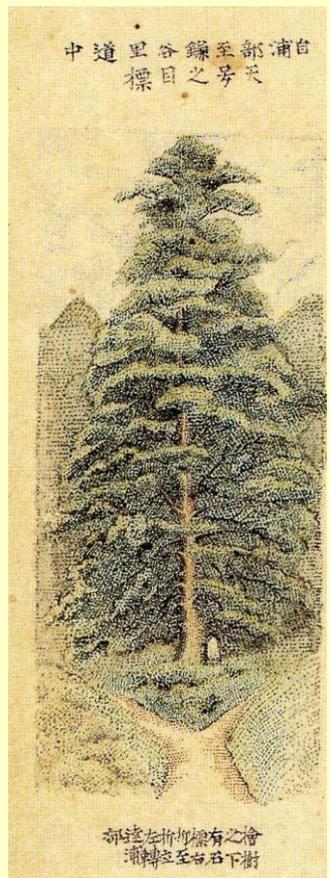
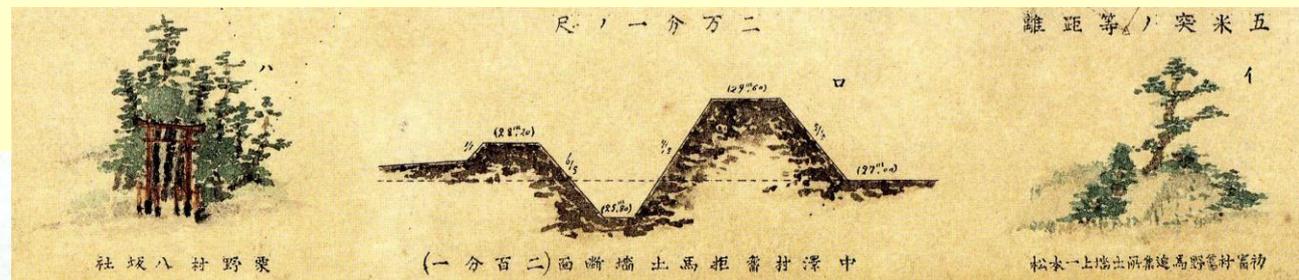
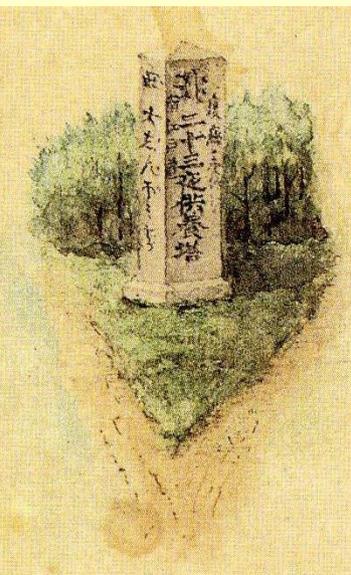


(口) 生安大巖寺山門



イ号、場所より東方を眺望  
也之視



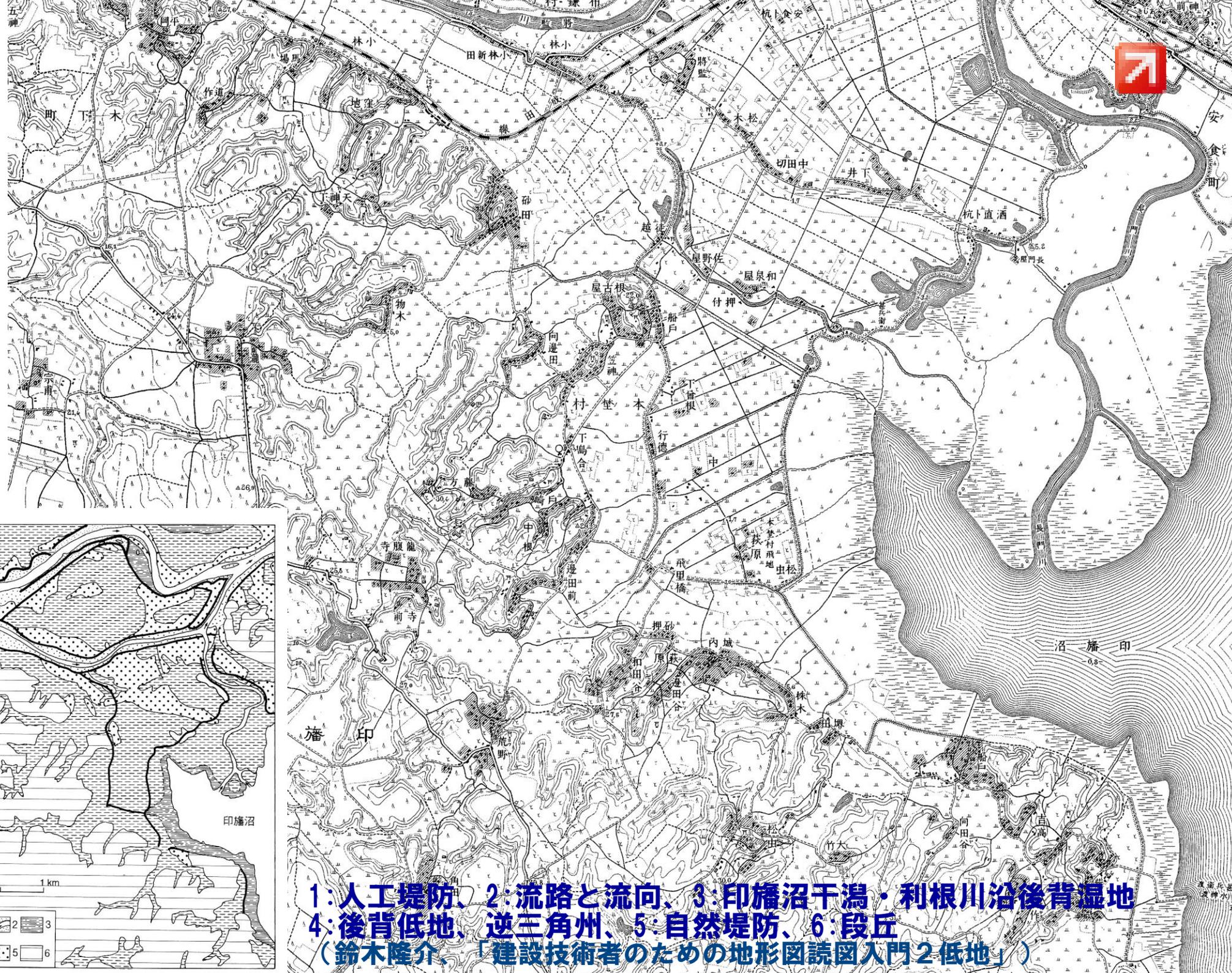


# フランス式からドイツ式への変更 昔の地形図から土地の性質に関する情報を 読み取ることができる



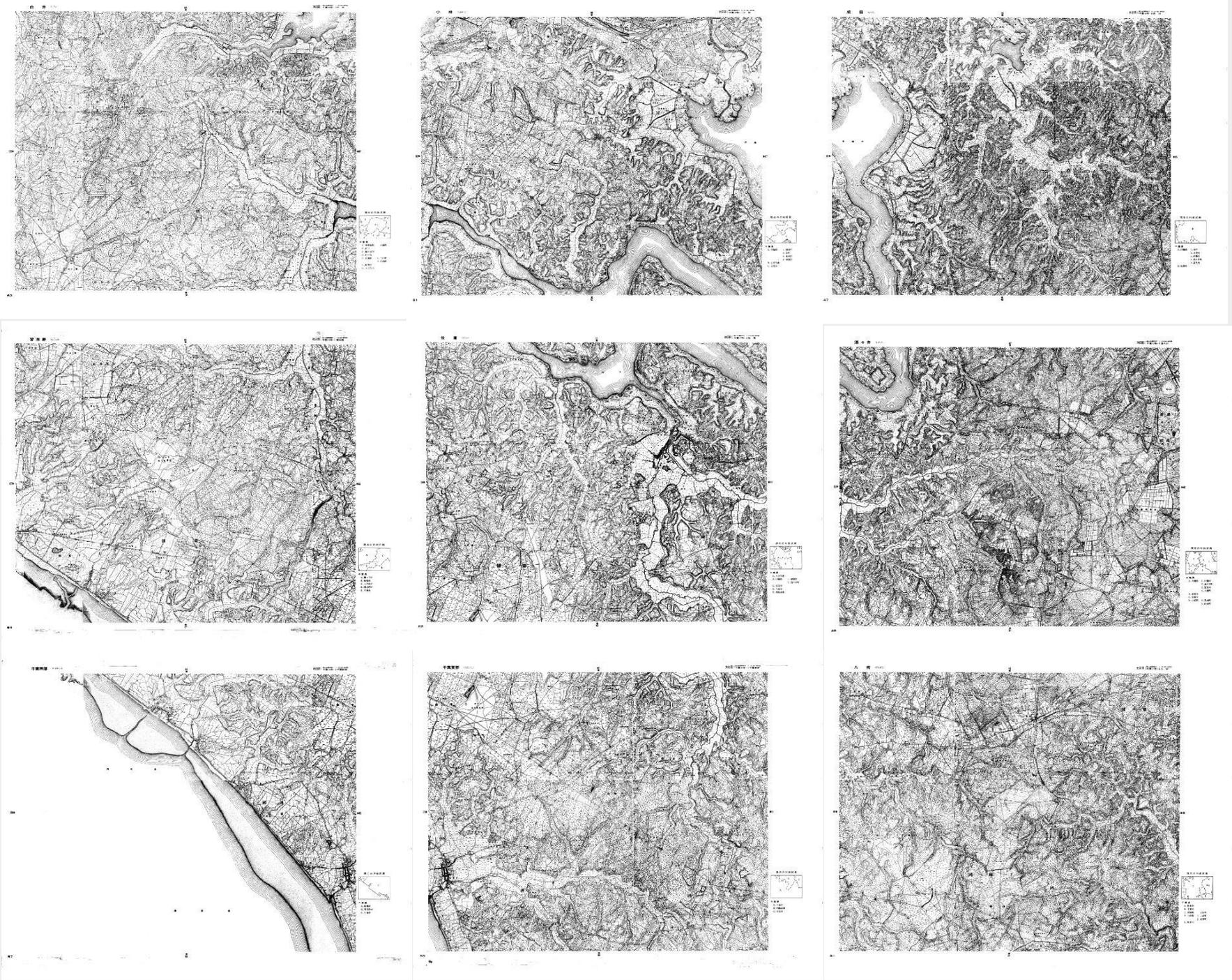
(迅速測図集成図 現竜ヶ崎図郭)

逆三角州の発達する支谷閉塞湖

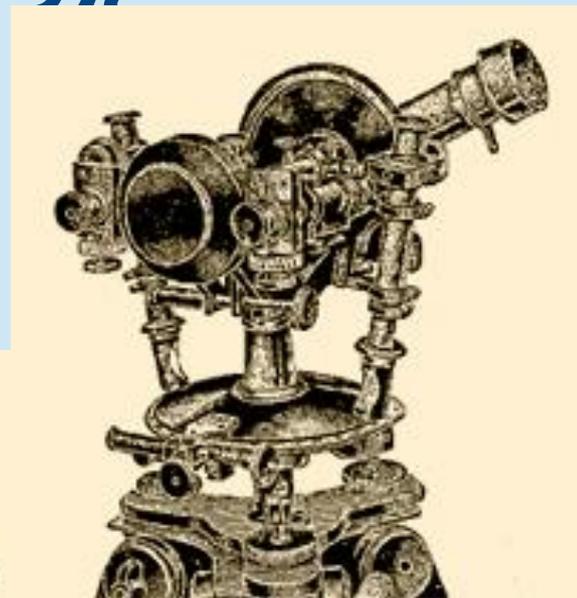
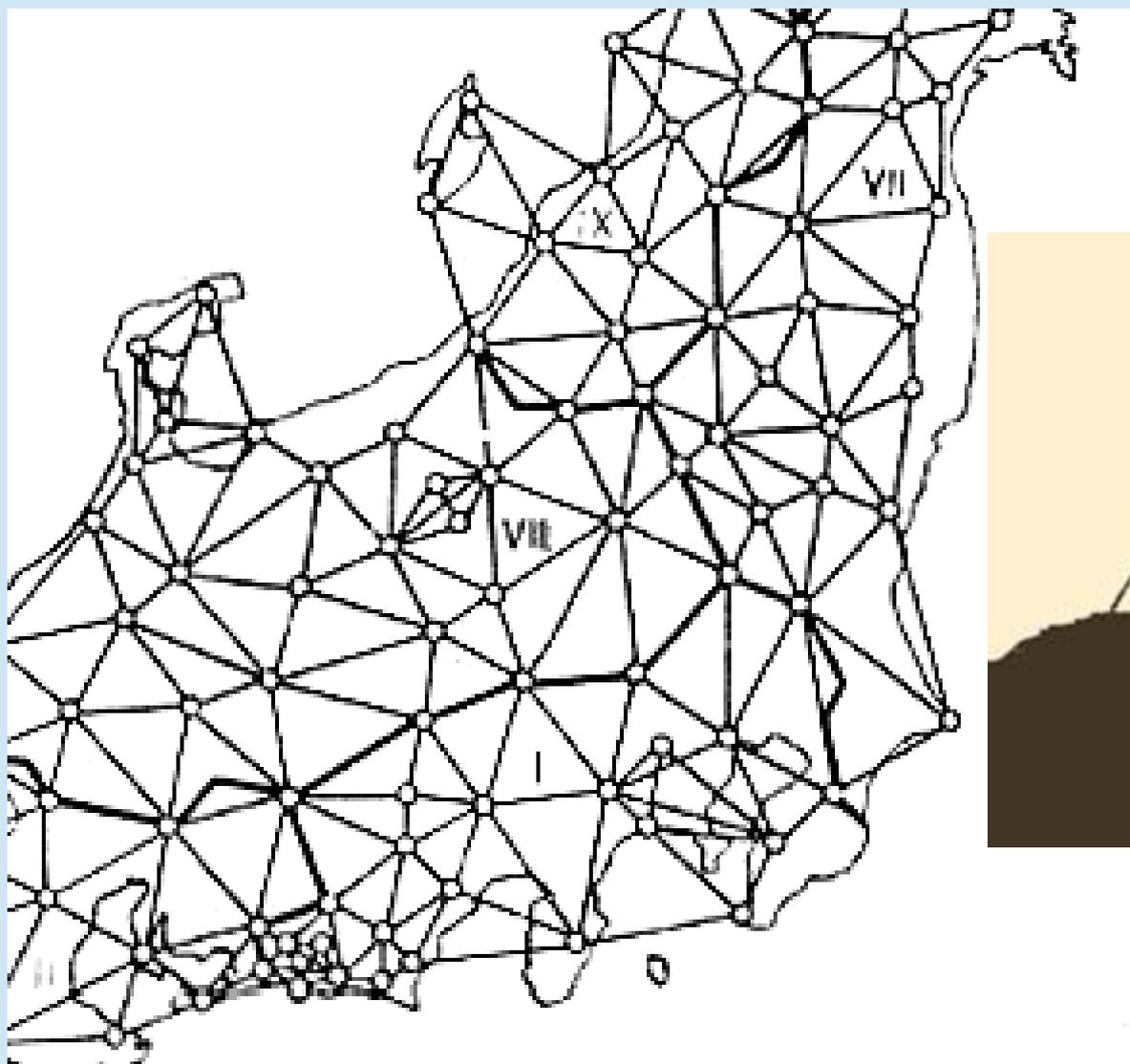


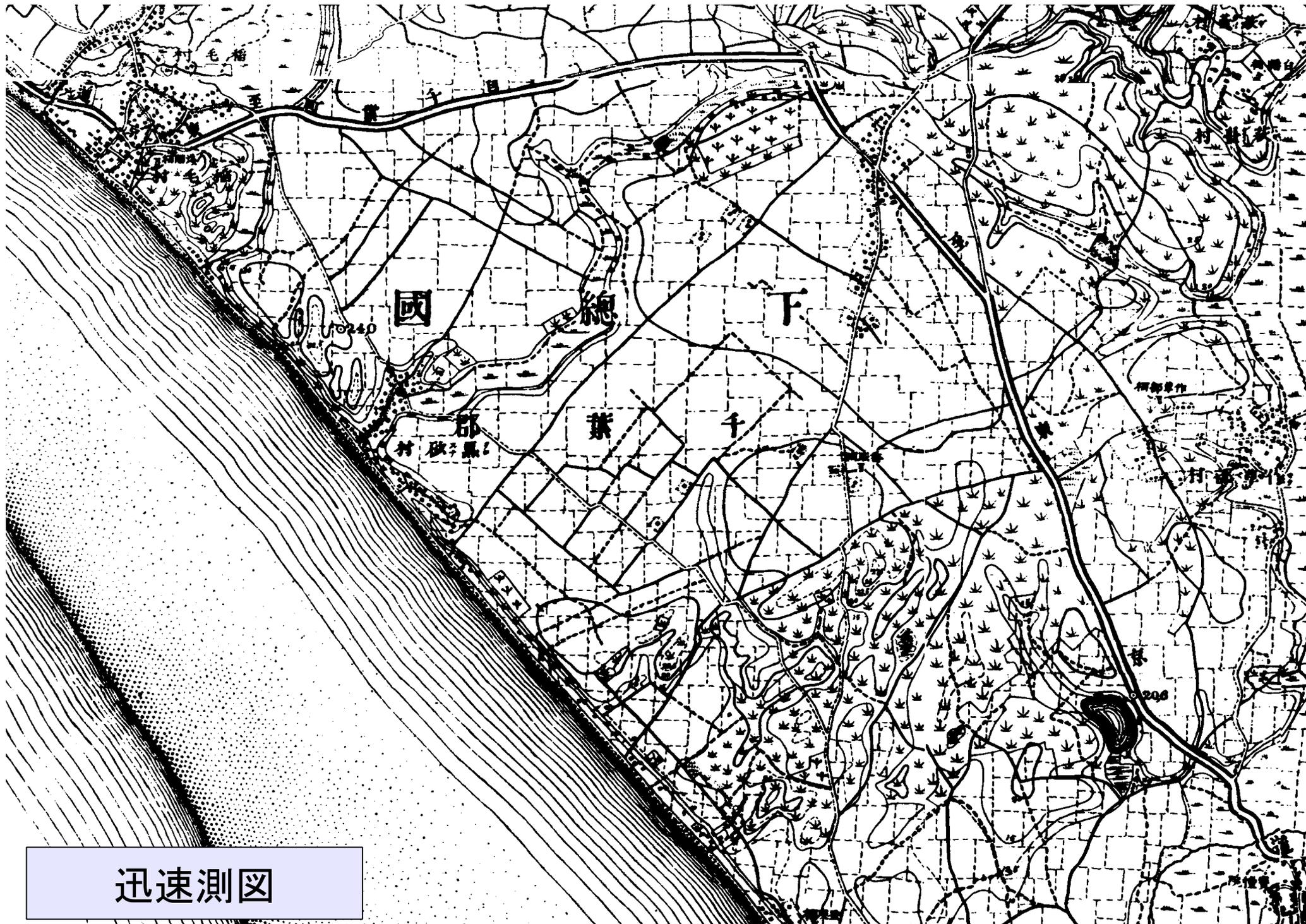
1:人工堤防、2:流路と流向、3:印旛沼干潟・利根川沿後背湿地  
 4:後背低地、逆三角州、5:自然堤防、6:段丘  
 (鈴木隆介、「建設技術者のための地形図読図入門2低地」)

# 迅速測図集成図

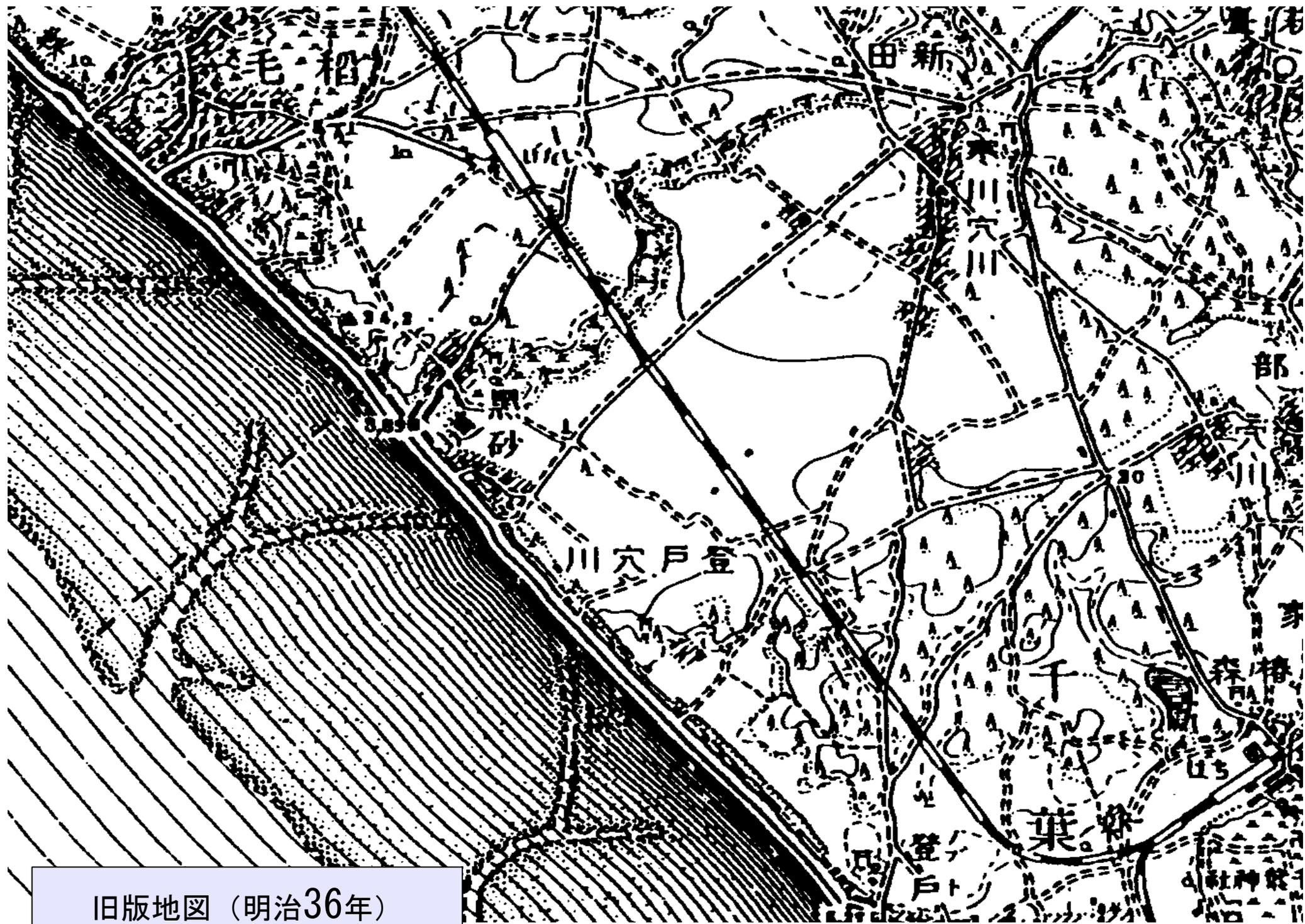


# 明治中期以降、一等三角点のネットワークが完成 地形図に緯度・経度が入るようになった





迅速測図



旧版地図（明治36年）

# 旧版地形図から読み取った土地利用(氷見山、LUIS)

明治・大正期(左)と  
現代(下)の土地利用

- Conifer forests
- Broadleaf forests
- Paddy fields
- Fields
- Urban area
- Others (swamps, wastelands)

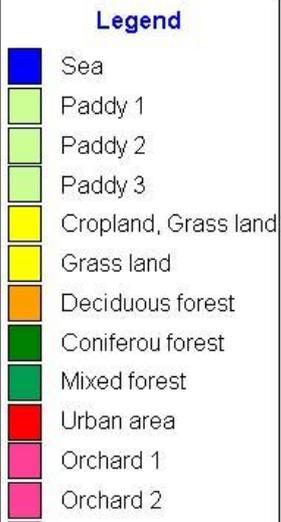
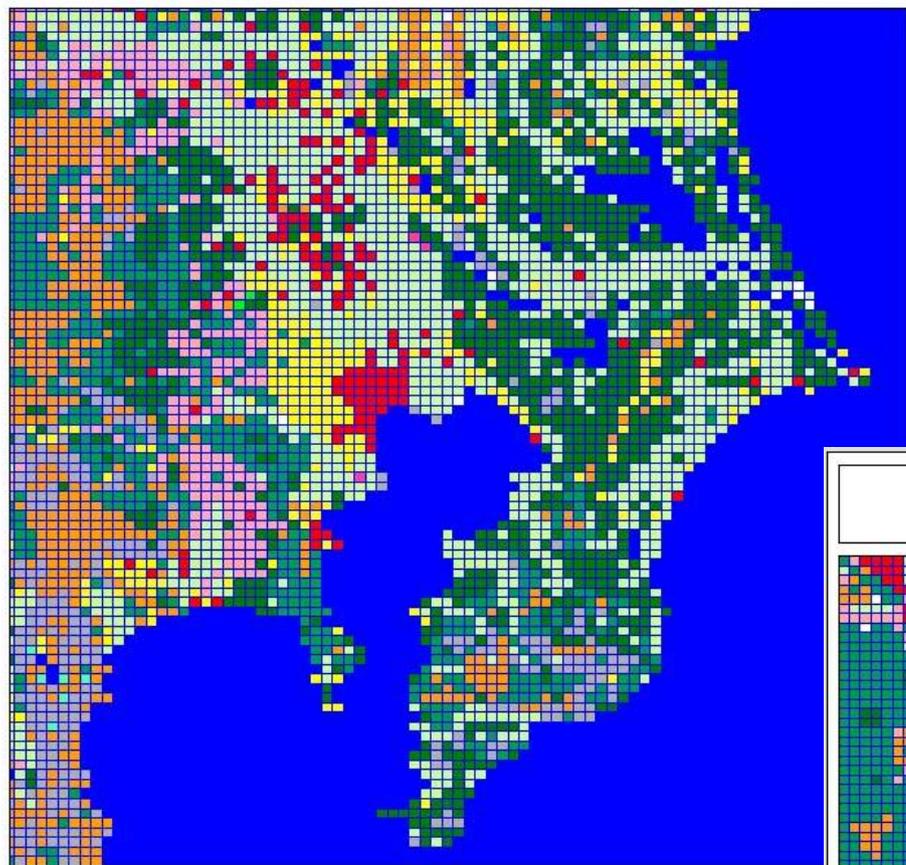
- Conifer forests
- Broadleaf forests
- Paddy fields
- Fields
- Urban area
- Others (swamps, wastelands)

100年前と現在では何が違うか？それはどうしてか？

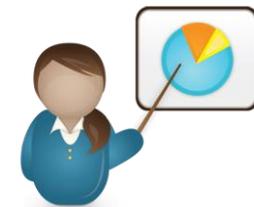
そこには様々な  
物語が...



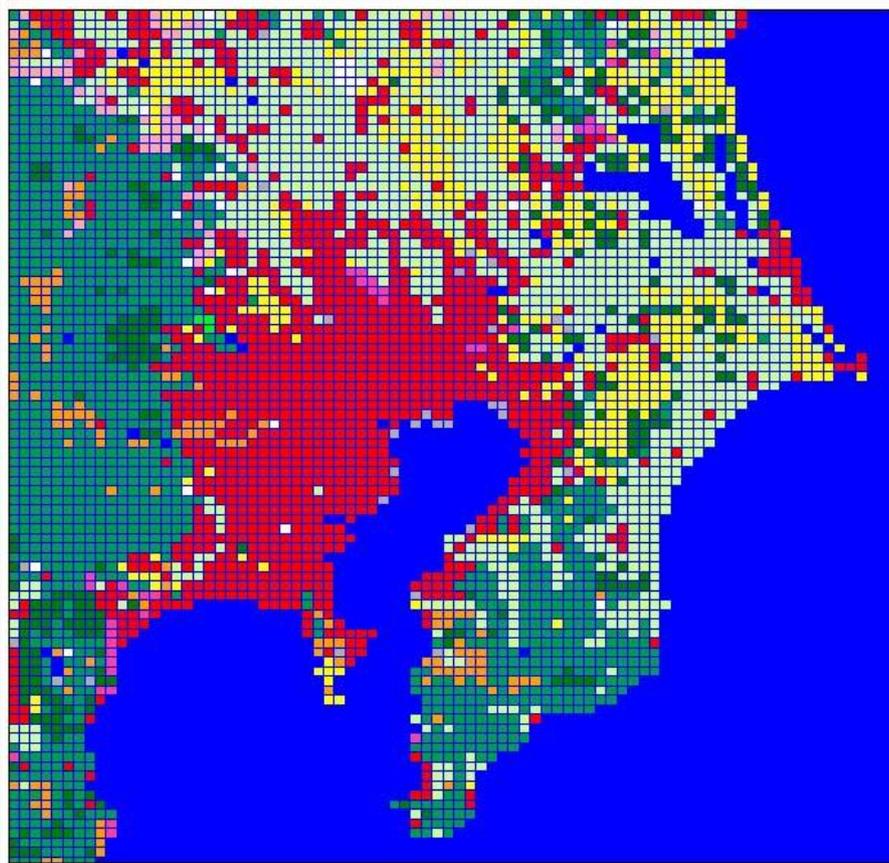
## Landuse Map in Meiji-Taisho Era



## 明治・大正期(左)と平成期(下)の土地利用 2kmメッシュ内の卓越する土地利用



## Landuse Map in Heisei Era



- 桑畑
- 荒地(茅場)
- 針葉樹
- 水田
- 都市域
- 落葉樹
- 混交林



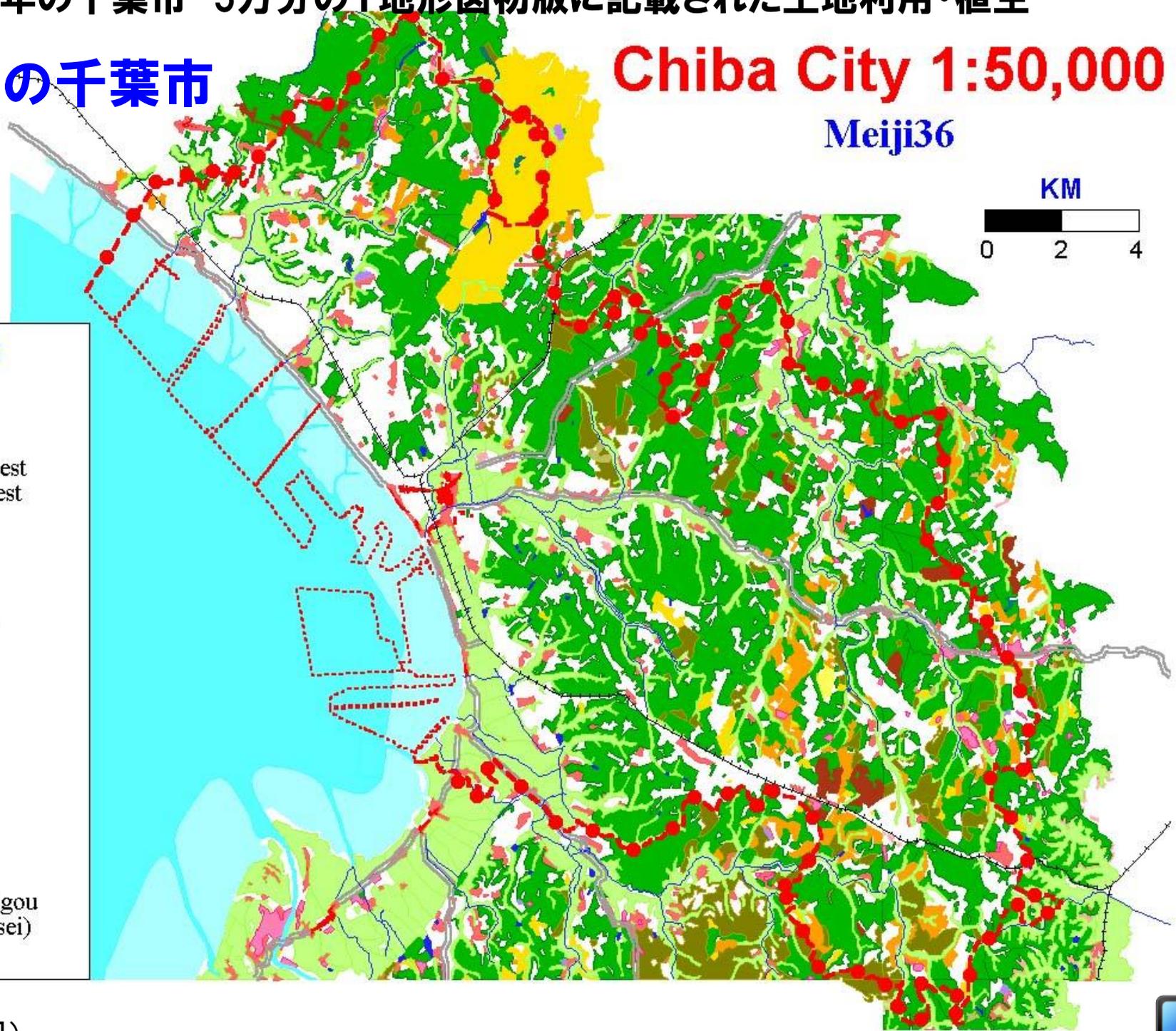
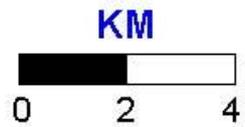
(氷見山幸夫、LUIS)

100年前の千葉市

Chiba City 1:50,000

Meiji36

- Legend**
- Urban\_1
  - Urban\_2
  - Urban\_3
  - Coniferous forest
  - Deciduous forest
  - Mixed forest
  - Waste land
  - Orchard
  - Paddy field
  - Mulberry field
  - Grass land
  - Tea field
  - Bamboo
  - Lake,Pond
  - Marsh,Swamp
  - Tidal flats
  - Sea
  - Large river
  - = Wide road
  - + Railroad
  - Small river,Suigou
  - - Coast line(Heisei)
  - - City boundary



(近藤原図)



# 飛行機の時代がやってきた



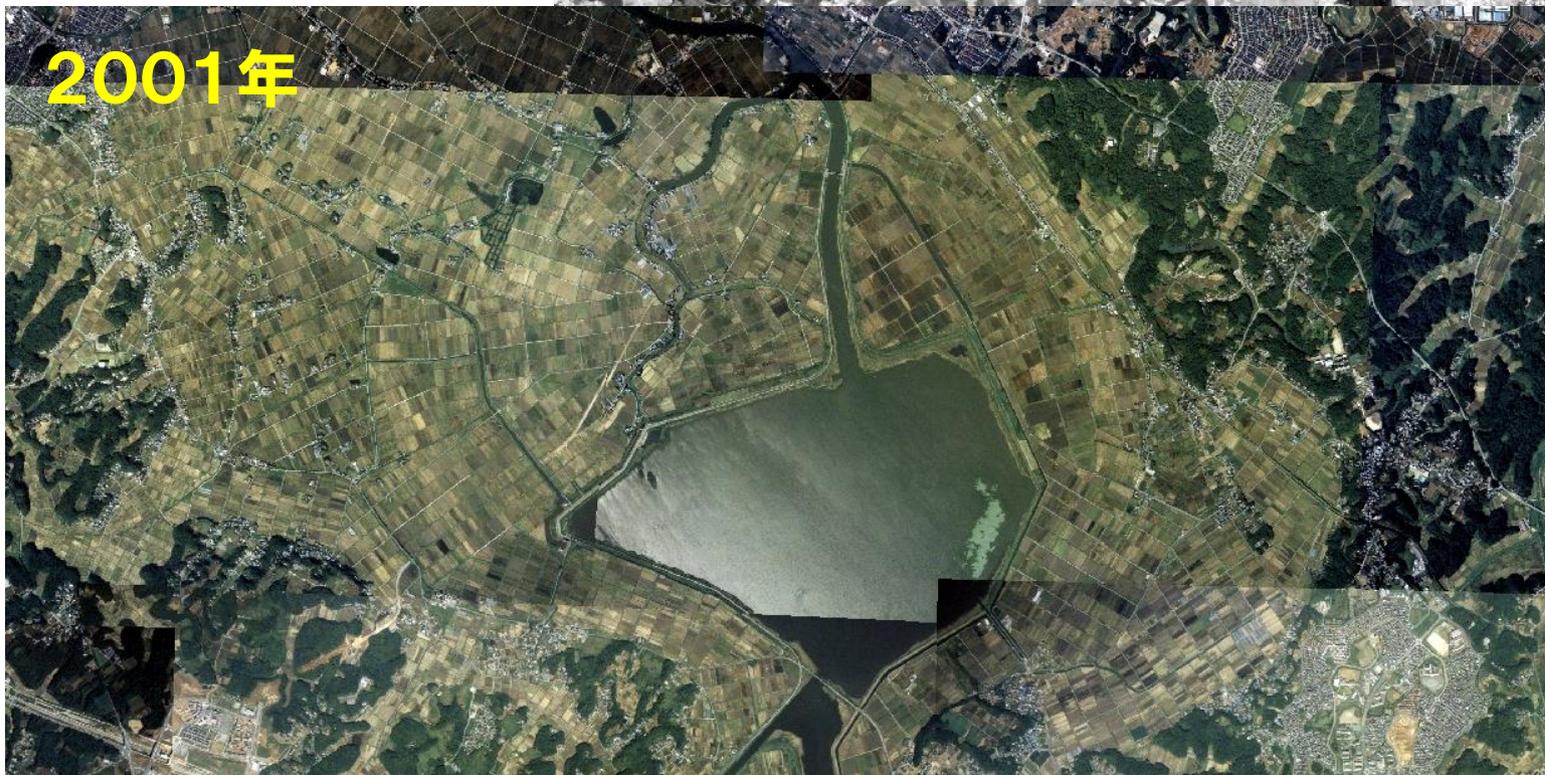
# 洪水が形成した 印旛沼の逆 三角州

1947年



利根川の大洪水  
明治43年(1910年)  
昭和13年(1938年)  
明治16年(1941年)  
昭和22年(1947年)  
⇒カスリーン台風

2001年



利根川の洪水時  
の水位は約5m

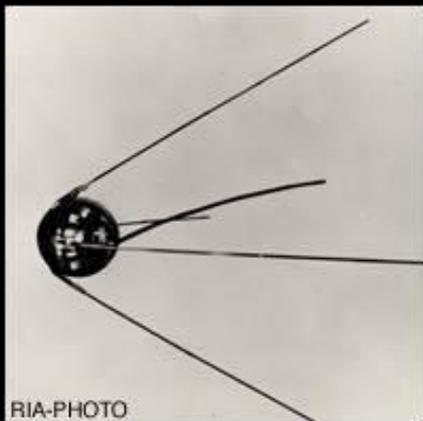


印旛沼の水位は  
約2m



洪水時に何が起  
こったか？

# 衛星観測の時代がやってきた

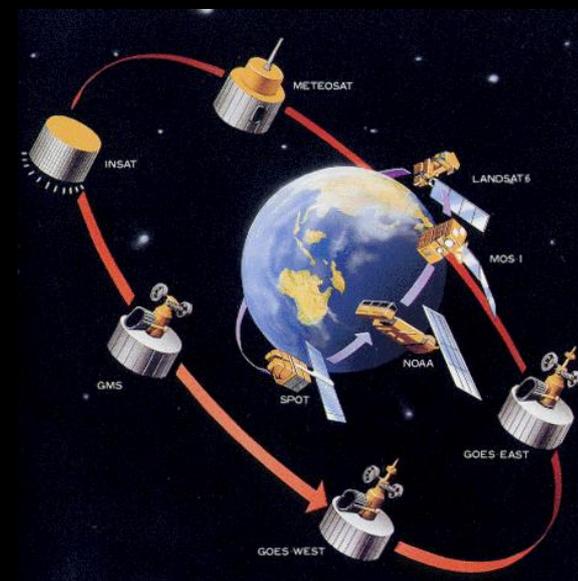


人類発の人工衛星は1957年に打ち上げられた  
私と同学年...



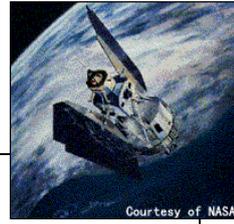
1972年に打ち上げられたLANDSAT1号  
二より初めて人類は地表の詳細な模様を  
目の当たりにした...

人工衛星は暮らしにとっても大切な存在となった

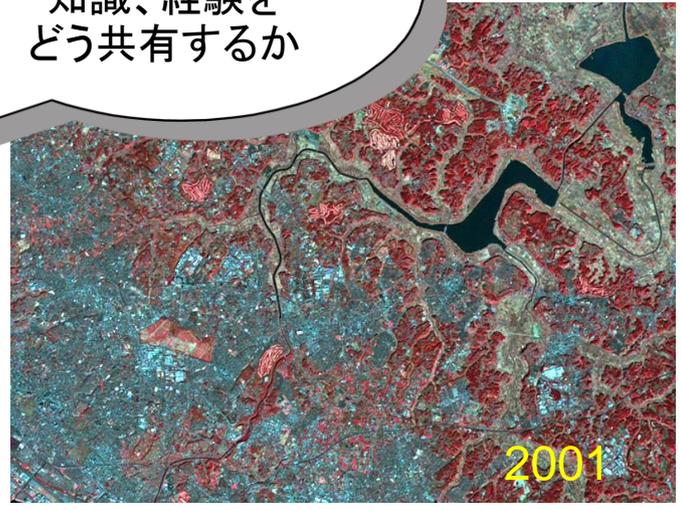


# 地域スケールの環境変動モニタリング

## 40年以上も観測を続けている その間に様々な変動が起こった



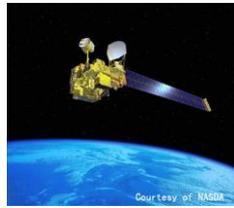
まだまだ  
たくさんある



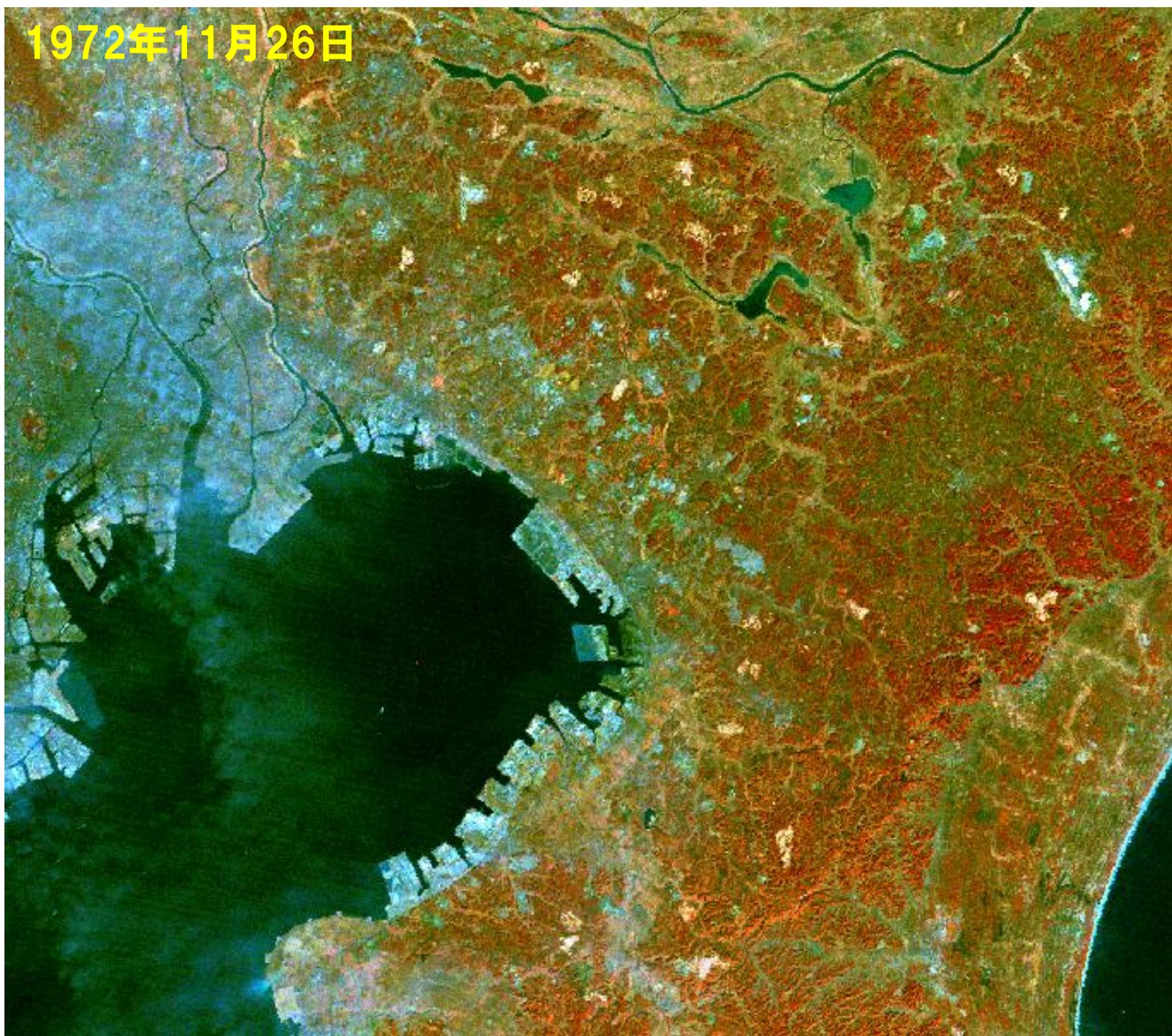
小さく、深い地域の  
知識、経験を  
どう共有するか

- 1972 ランドサット1号
- 1986 もも1号 (海洋観測)
- 1992 JERS-1 (資源観測)
- 1996 みどり1号 (地球環境観測)
- 2002 みどり2号 (地球環境観測)
- 2006 だいち (地図作成、災害観測)

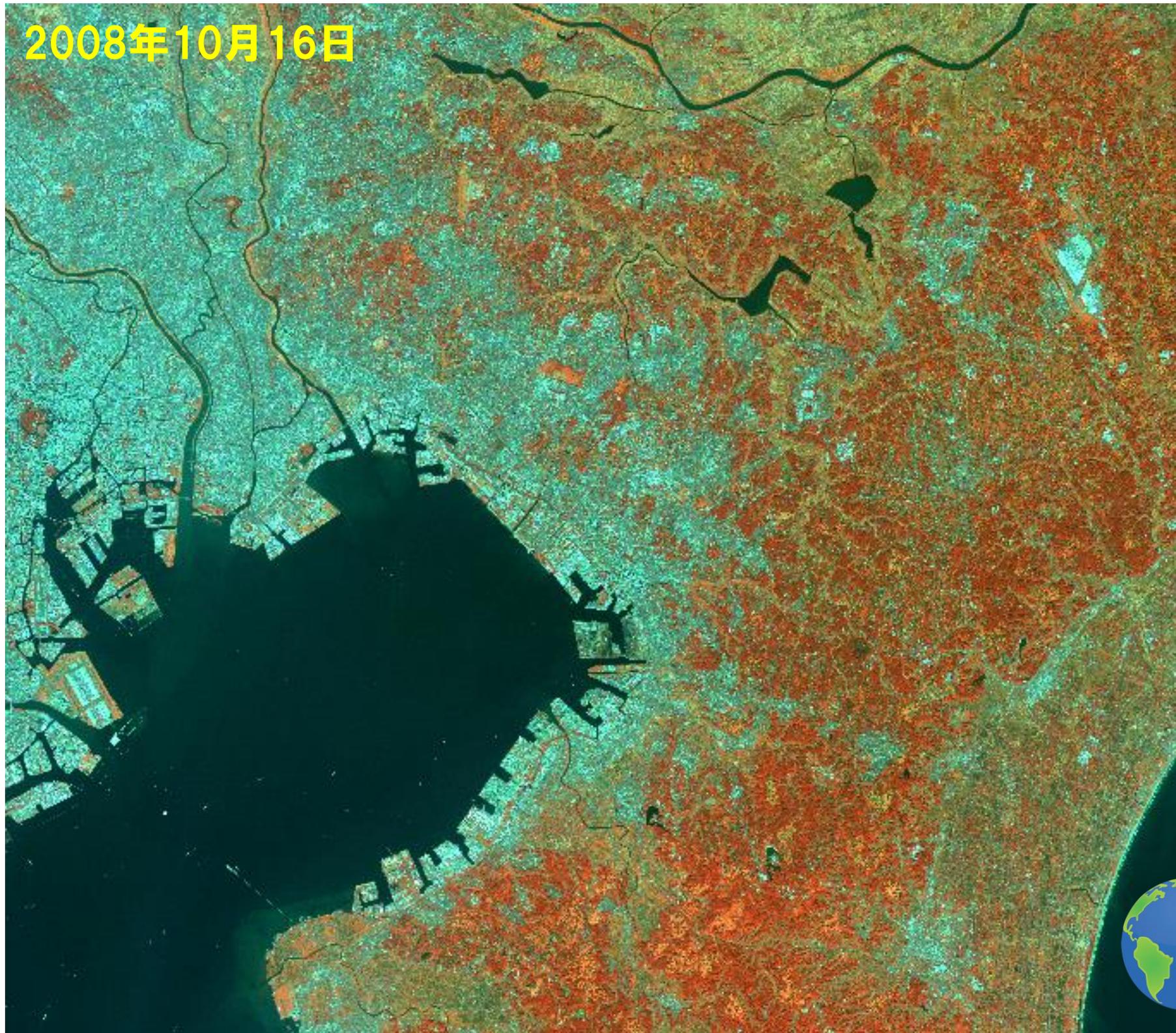
- 1972 国連人間環境会議 (ストックホルム会議)  
人間環境宣言
- 1992 リオデジャネイロ環境サミット  
持続可能な開発のための行動計画  
「アジェンダ21」  
**地球温暖化**、生物多様性
- 2002 ヨハネスブルク環境サミット  
持続可能な開発に関する世界サミット



1972年11月26日



2008年10月16日



# 都市化がもたらしたものの

- 緑地の減少
- ヒートアイランド
- 水質汚染
- ...

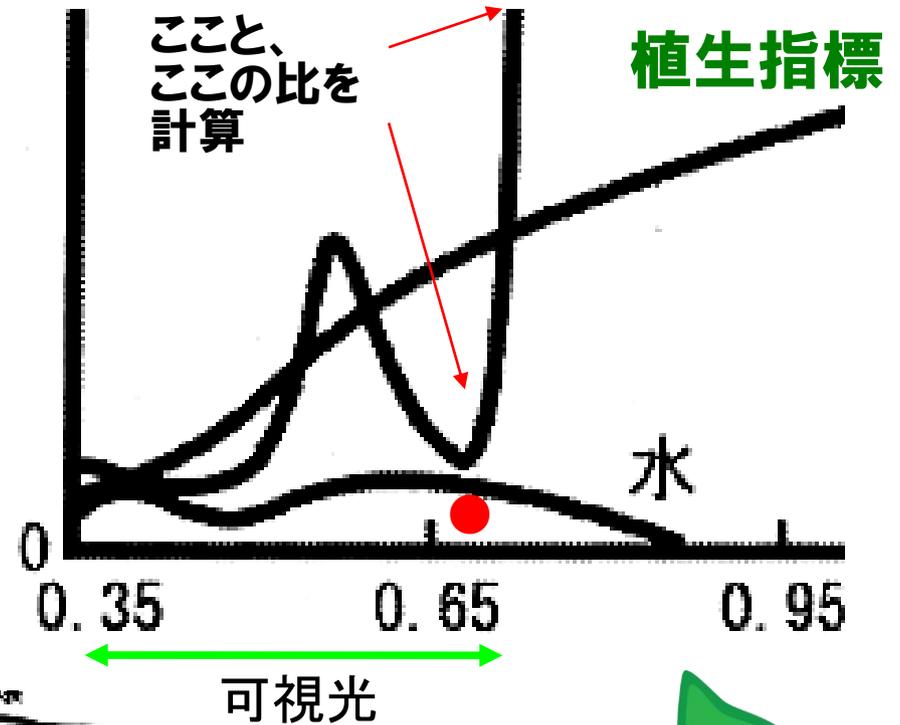
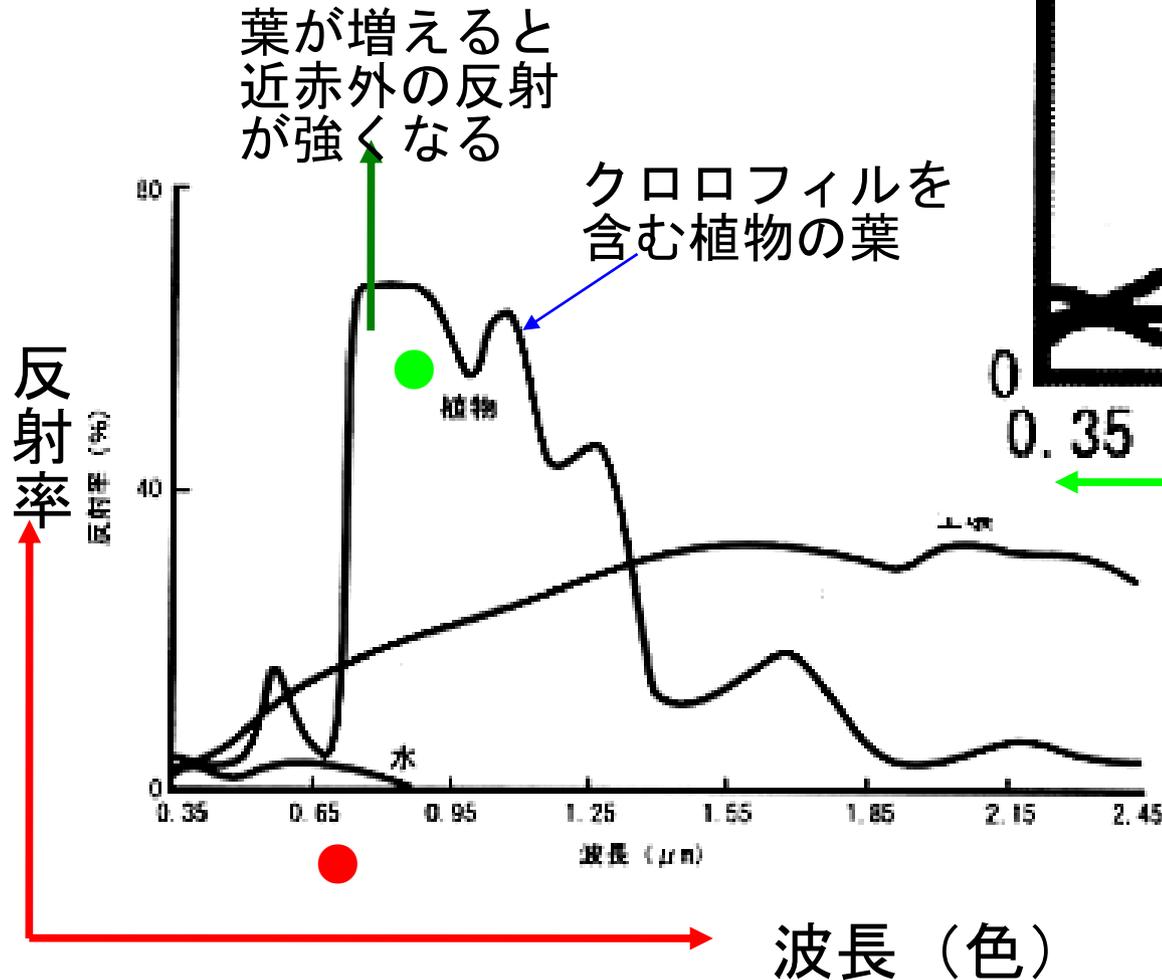


# 衛星による植生観測の原理



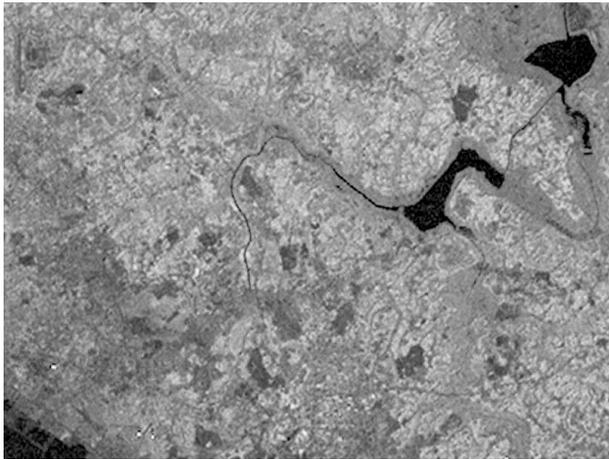
衛星で植生のことがよくわかる！

- 赤の光を吸収
- 近赤外の光を反射



葉っぱがいっぱいついているほど近赤外の反射が大きい

# 1972年、1985年、2001年の変化を植生指標（NDVI）画像とフォールスカラー画像（BGR=GRNir）で見よう



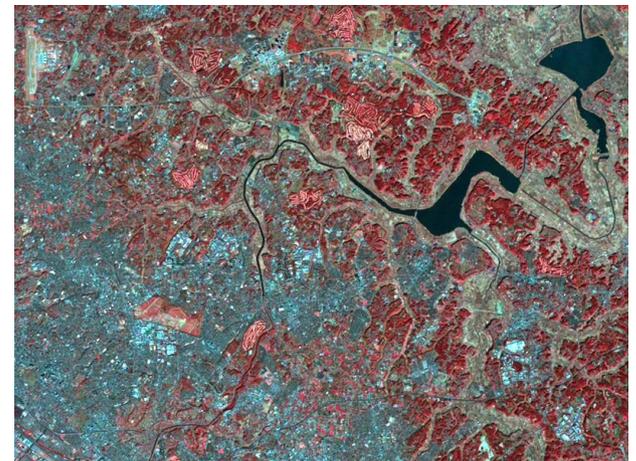
1972



1985



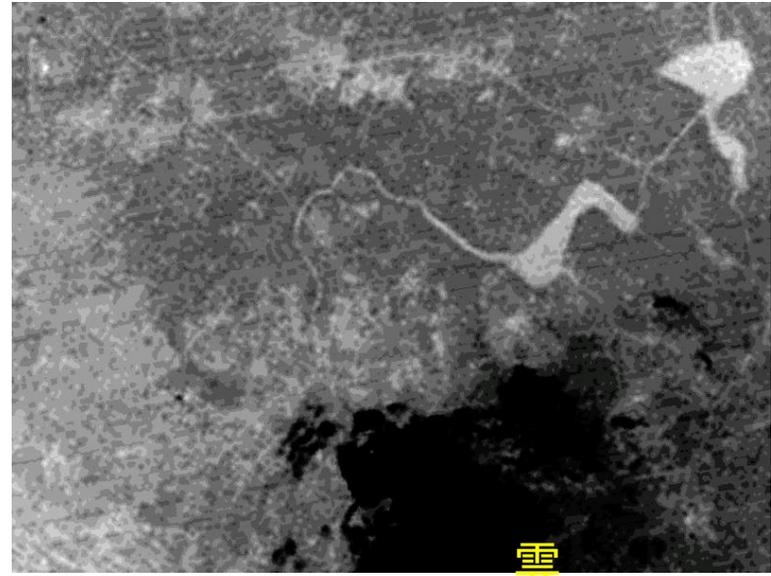
2001



- 都市化の進行を、植生域の減少として捉えることができます
- このような変化が何をもたらしたか→**これが環境研究**

# 都市化は温度環境を変化させている ローカル・ウォーミング

(10年も働き続けてちょっとセンサーが劣化しています)



雲

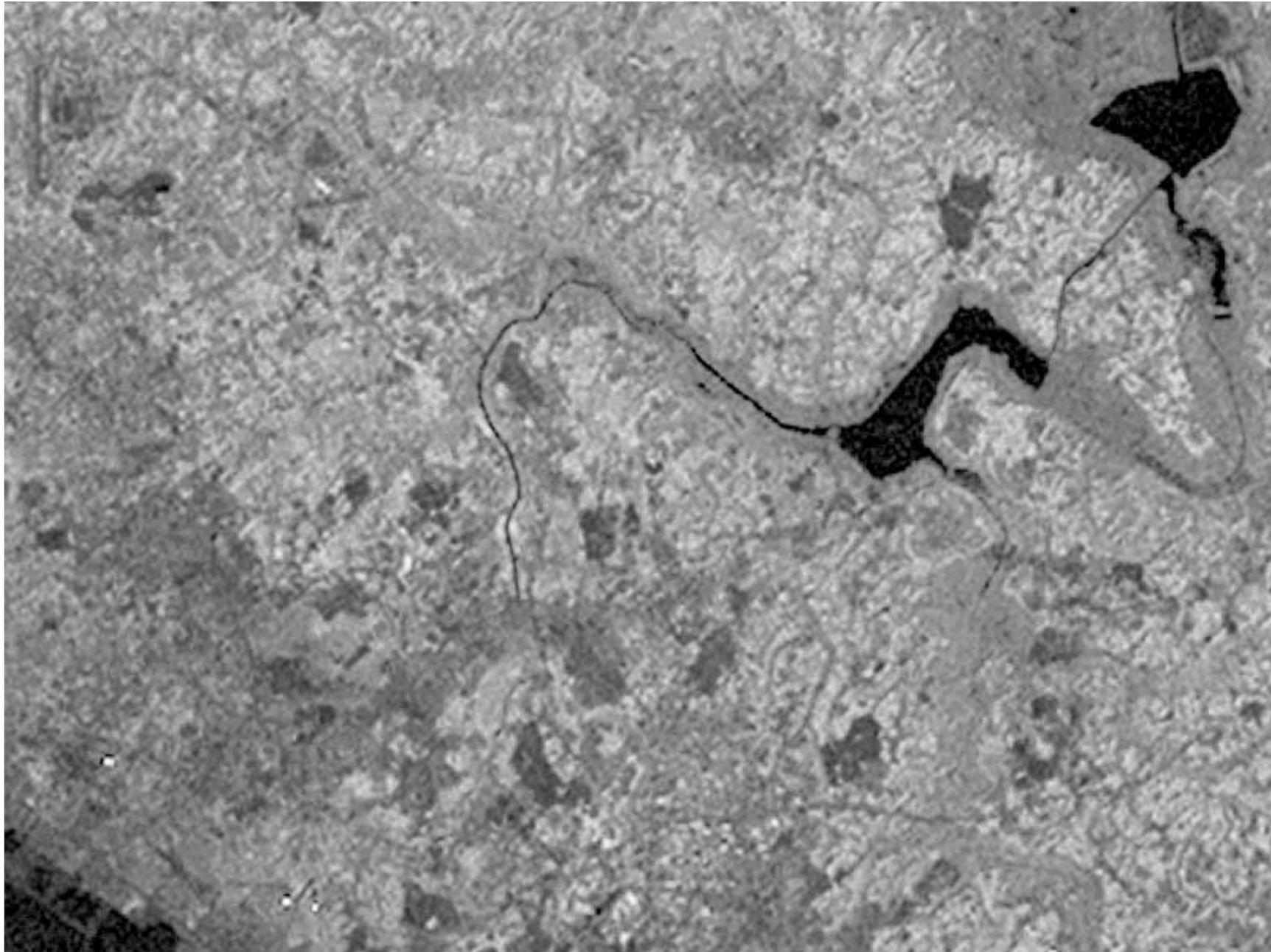
1984年8月14日（左）と1994年8月10日（右）のランドサット5号による夜間熱赤外画像（午後9時頃）



- 左の画像は1985年1月23日のNDVI画像
- 左上の同時期の熱赤外画像と比べてみよう

地表面温度と植生分布の関係はどう見えますか

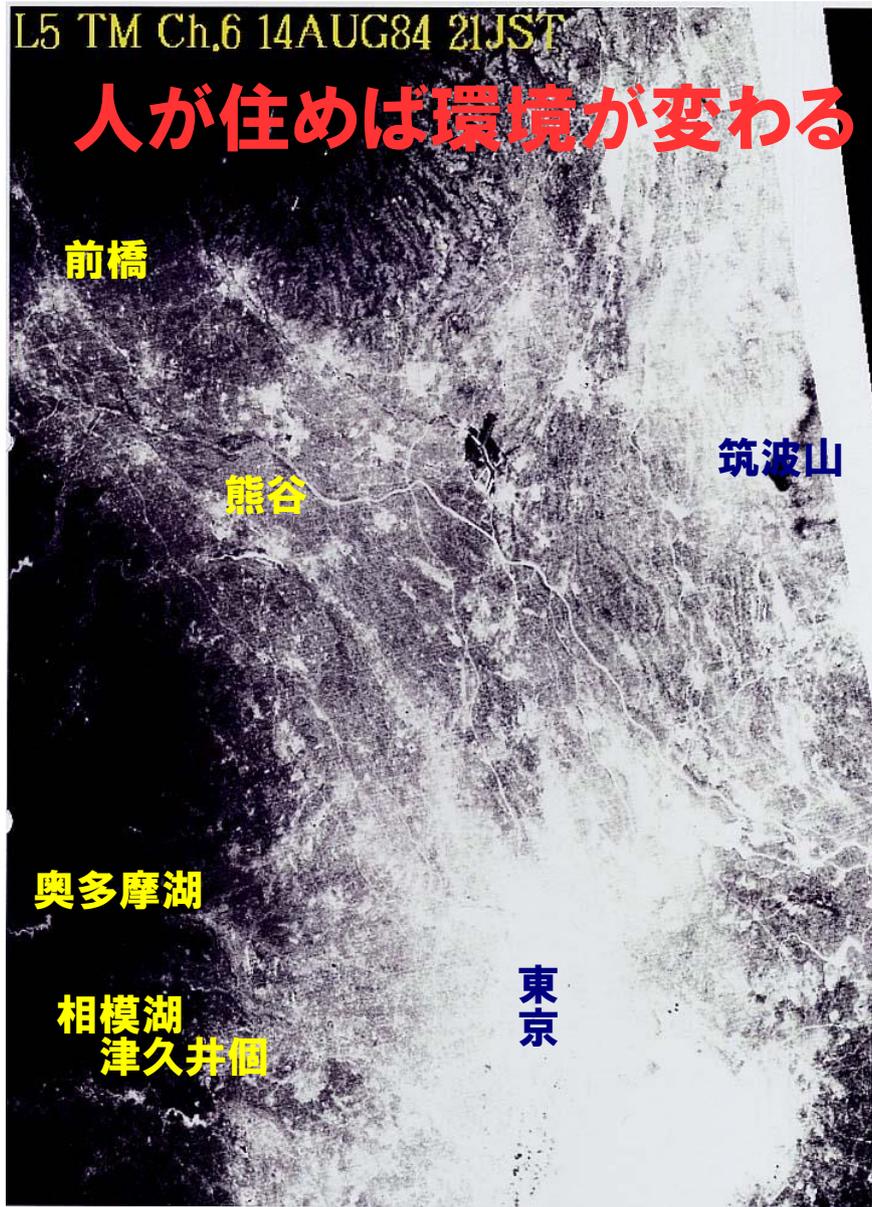
# 1972年11月26日の八千代付近のNDVI画像（L1-MSS）



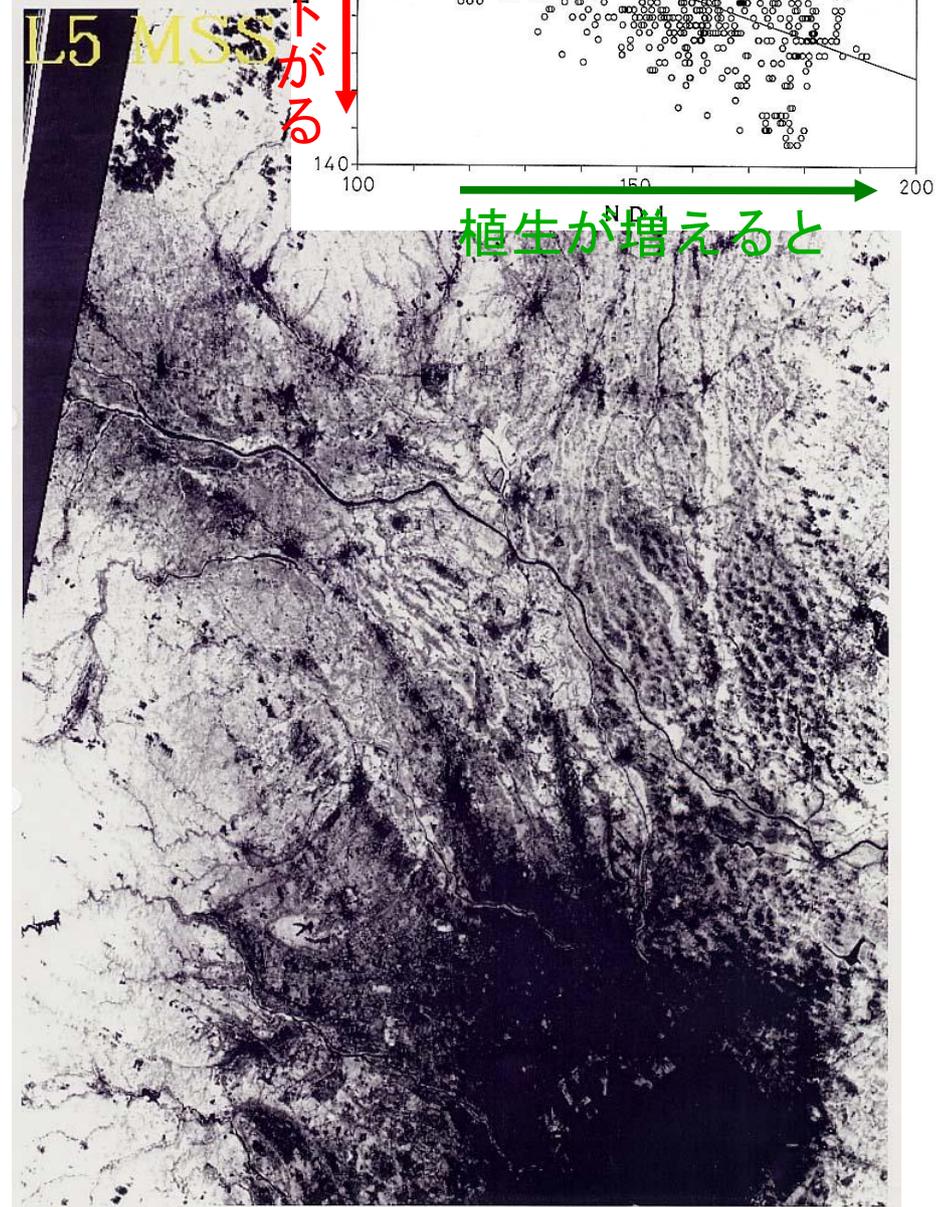
# 2001年11月27日の八千代付近のNDVI画像（L7-ETM+）



# 地表面温度（左）と植生指標（右） の画像はまるでポジとネガ



地表面温度：明るい⇒高い



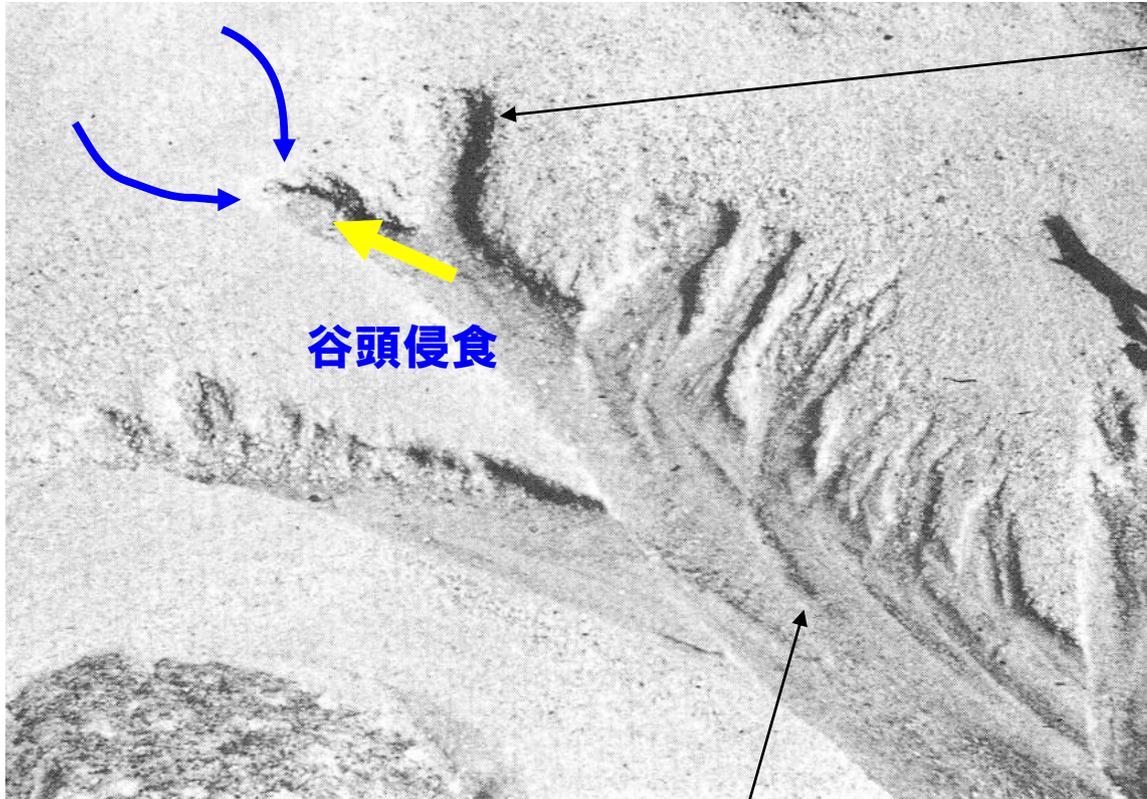
植生：明るい⇒多い

印旛沼流域の歴史、素顔を地形図や画像で振り返ってきました。  
では、地下では何が起きているのでしょうか？  
地形を見れば、地下の水の流れがわかります。



地形面の形成はわかった

# 谷の誕生と発達



谷頭侵食

谷頭は湧水点  
地下水の流れが  
最も集中する場所

## 地形発達と地下水流動系

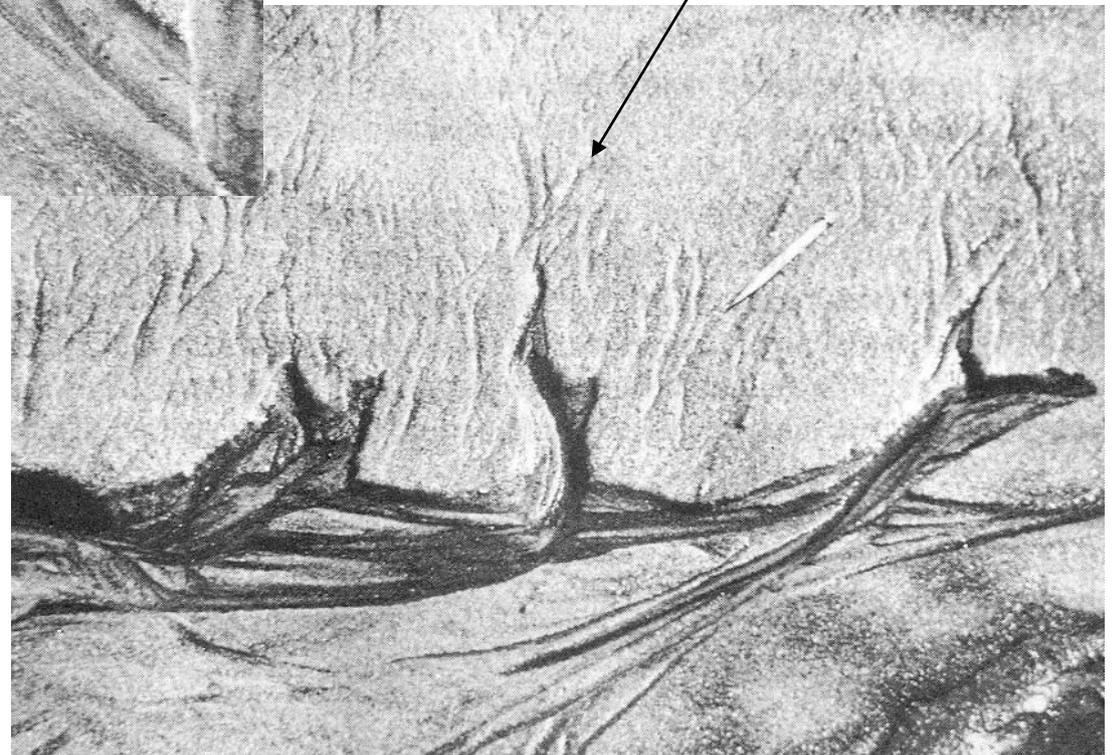
相互作用によって谷が  
生まれ、成長していく

台地の上には、主谷が  
形成される前にあった谷  
が残っている

谷底は地下水面  
湿地が形成される

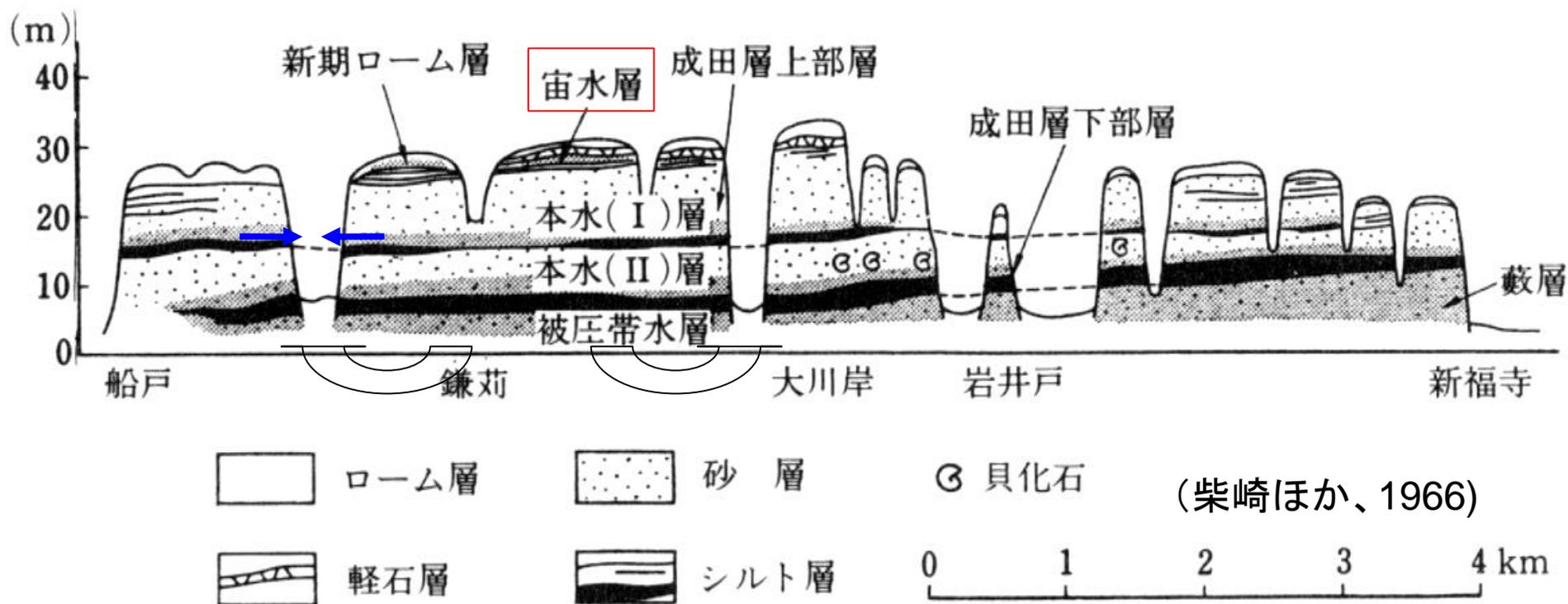
台地の谷の発達は地下水の  
流れと密接な関係にある

# 谷は地下水の排水系



# 印旛沼周辺の下総層群（成田層）の構造

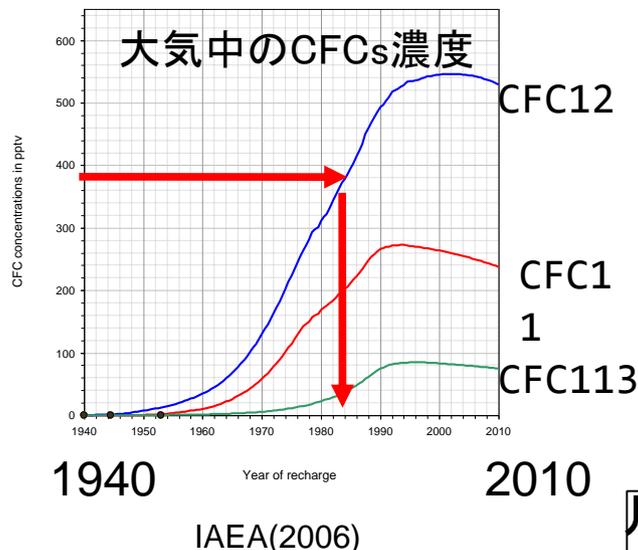
## 地下水は多層構造



- 宙水**：不透水層の存在によって、連続的な飽和帯である本水と独立に存在する地下水  
⇒関東ローム層下位の**常総粘土層**上に対する宙水
- 本水**：連続する飽和帯  
⇒上の図の本水Ⅰと本水Ⅱは降水量の多い時期には一連の地下水であった  
かもしれない  
⇒気候の乾燥化、あるいは地下水位の低下により、本水Ⅰ（実質的には宙水）と本水Ⅱに分離したかも知れない



# フロンによる滞留時間



## 湧水の滞留年数

20年以上  
~40年未満

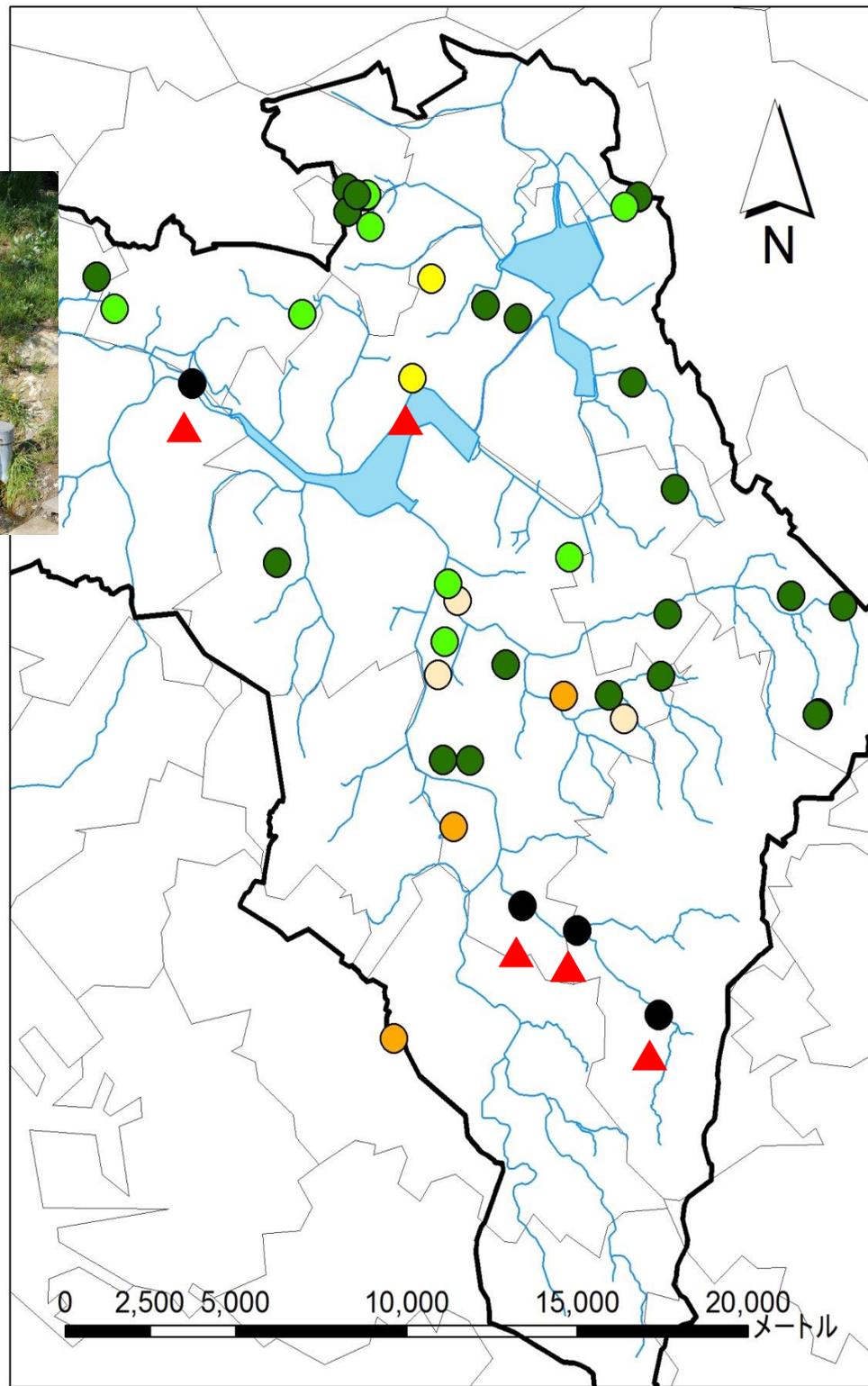
40年以上(4地点)  
は上総掘り井戸  
(自噴井) ▲

福井貴之  
修士論文  
(2011)

### 凡例

#### CFC12滞留年数

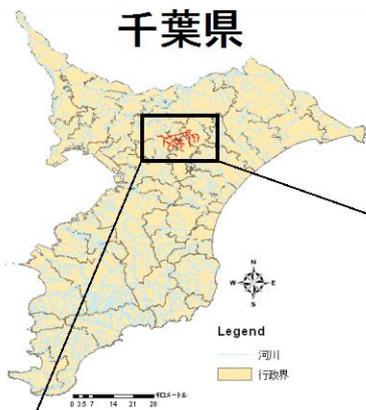
- no data
- 25未満
- 25-29.5
- 30-34.5
- 35-39.5
- 40年以上
- 流域界
- 河川
- 印旛沼水域(現在)
- 流域界
- 市町村界



# 台地を刻む谷の成り立ちと水循環



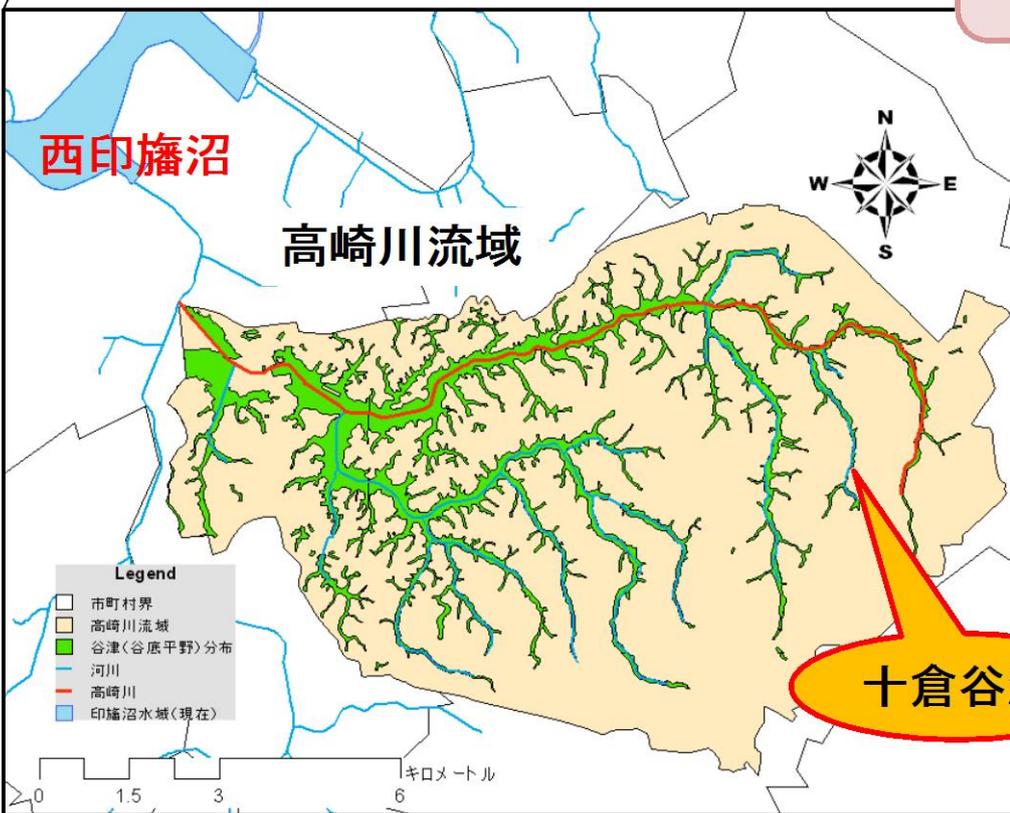
# 十倉谷津



高濃度の  
NO<sub>3</sub>-N含有  
地下水が流出。



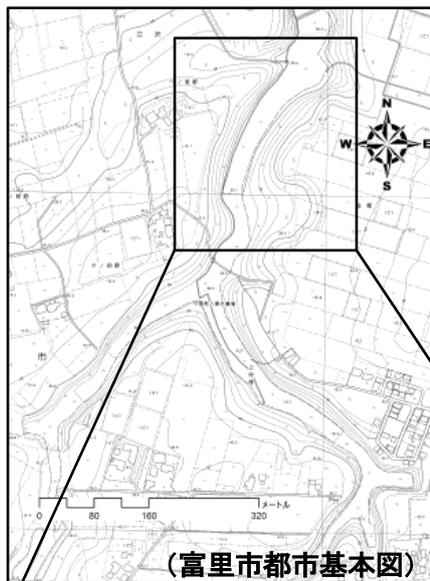
NO<sub>3</sub>-N濃度  
10mg/l以上  
(環境基準値)



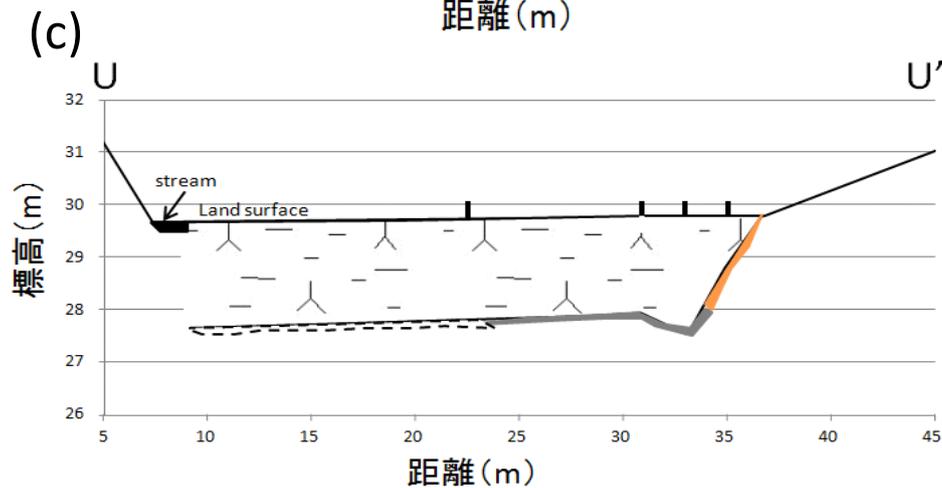
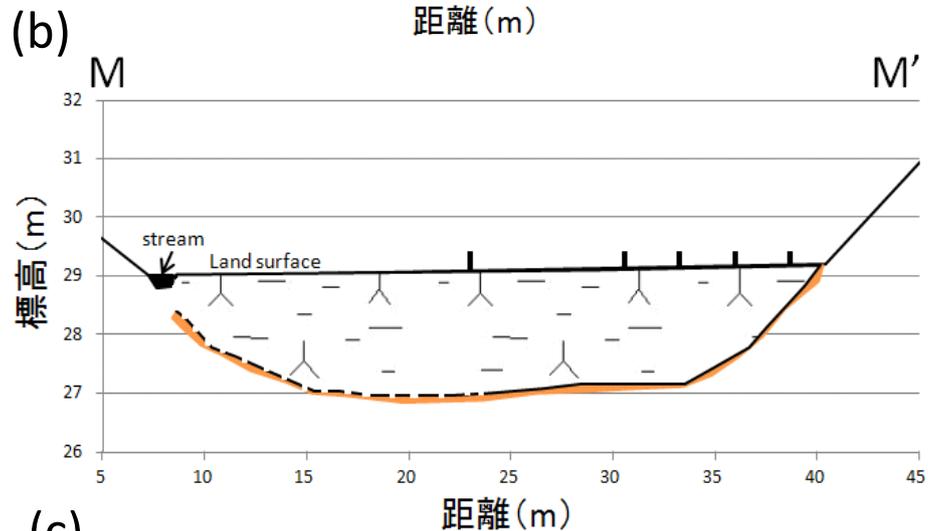
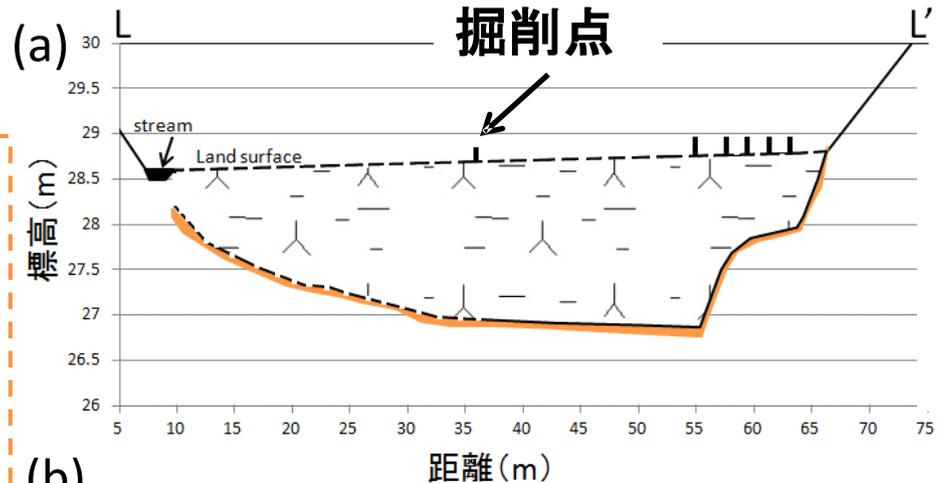
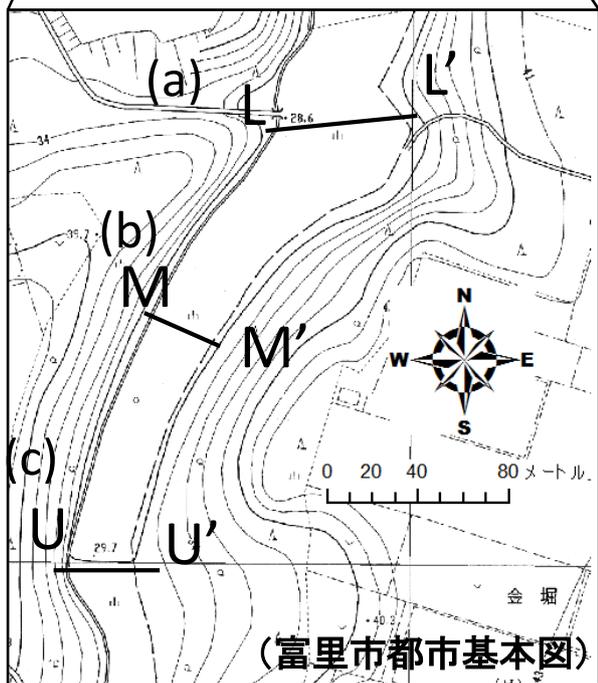
湿地  
(約1km)

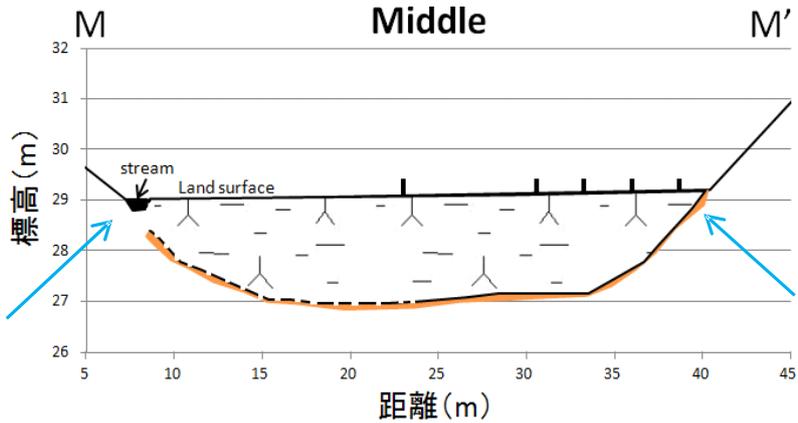


# 基盤の形状



-  砂質シルト(黒色)  
\*有機物を含む。
-  砂質シルト(赤褐色)
-  シルトまじり砂(黒灰色)
-  不明





閑話休題

沖積層の厚さが薄いことは、谷壁斜面下部における地下水流出に伴う側方侵食によって形成されたことを示す

川越(1991MS)による下総台地南東部の事例

- ・V字型の埋没谷
- ・最終氷期以降の海水準変動、水系の争奪などにより、様々な形態をとり得る

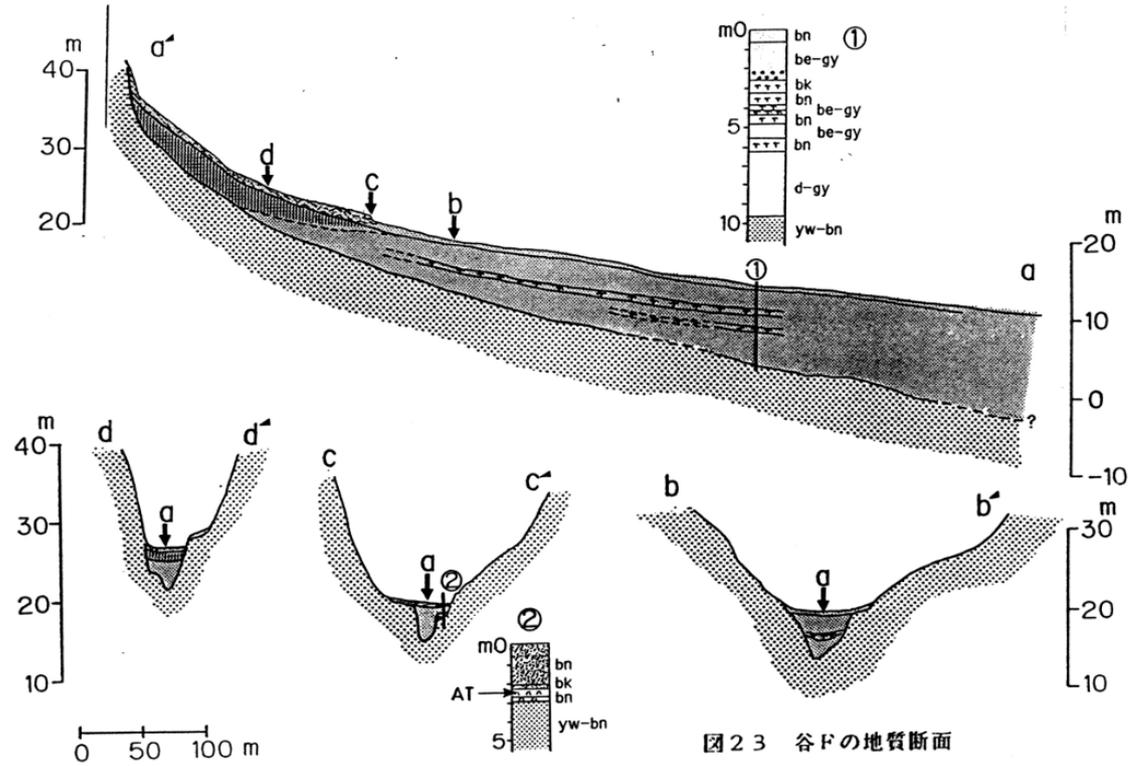


図2.3 谷Fの地質断面

1:砂層(洪積層), 2:泥層(洪積層), 3:砂(細粒~中粒), 4:砂(粗粒), 5:シルトまたは粘土, 6:シルト質砂, 7:腐蝕層(3~7:下末吉期以降の堆積物), 8:表層土または埋没土壌, 9:風化火山灰(いわゆる関東ローム層), 10:不明 color: bn:brown, gy:gray, bk:black, gn:green, be:blue, yw:yellow, d:-dark  
 ↓は他の測線との交点、⊕は地質柱状図の位置を示す

# 印旛沼流域の台地と湧水

- 谷には10数万年の歴史がある
- 谷は水を効率的に排水するために形成
- 地下水を排水するために谷が穿たれる
- 湧水は数十年の地下水の旅の終着点



# 未来へのメッセージ

そうありたい未来を想い、  
そうなるように現在を変える

● 様々な“世界”の存在に気づく

都市的世界と農村的世界の共存

● 人と村(社会)と自然の無事

共生(ともいき)の世界

**一緒に印旛沼流域の未来を創りましょう**

