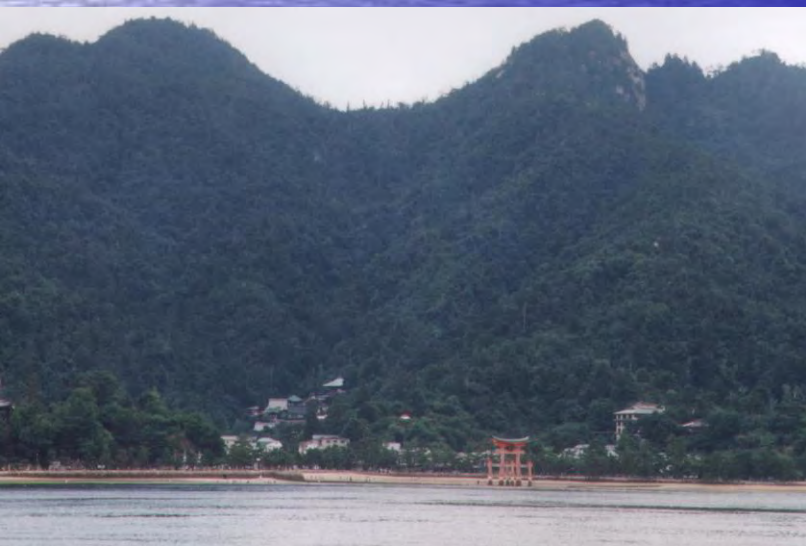


地球研研究会「都市、沿岸、人間、地下水環境」

沿岸都市の地下環境と人間活動 —瀬戸内海沿岸地域の例—

小野寺真一（広島大学総合科学部）



@自然過程⇔人為過程

地下水—海水の混合域；浄化

@都市の影響とは；

排水網の意味

瀬戸内海沿岸域

- 歴史的には早くから都市化
 - － 京都(関西圏)-九州・大陸の経路
- 地形的には山地、平地は少ない
 - － 沿岸域に港湾都市、自然海岸は少ない
- ゴミ処分場
 - － 大阪ゴミ(江戸期)、豊島問題(現代)
- 内海
 - － 航路、潮位変動大

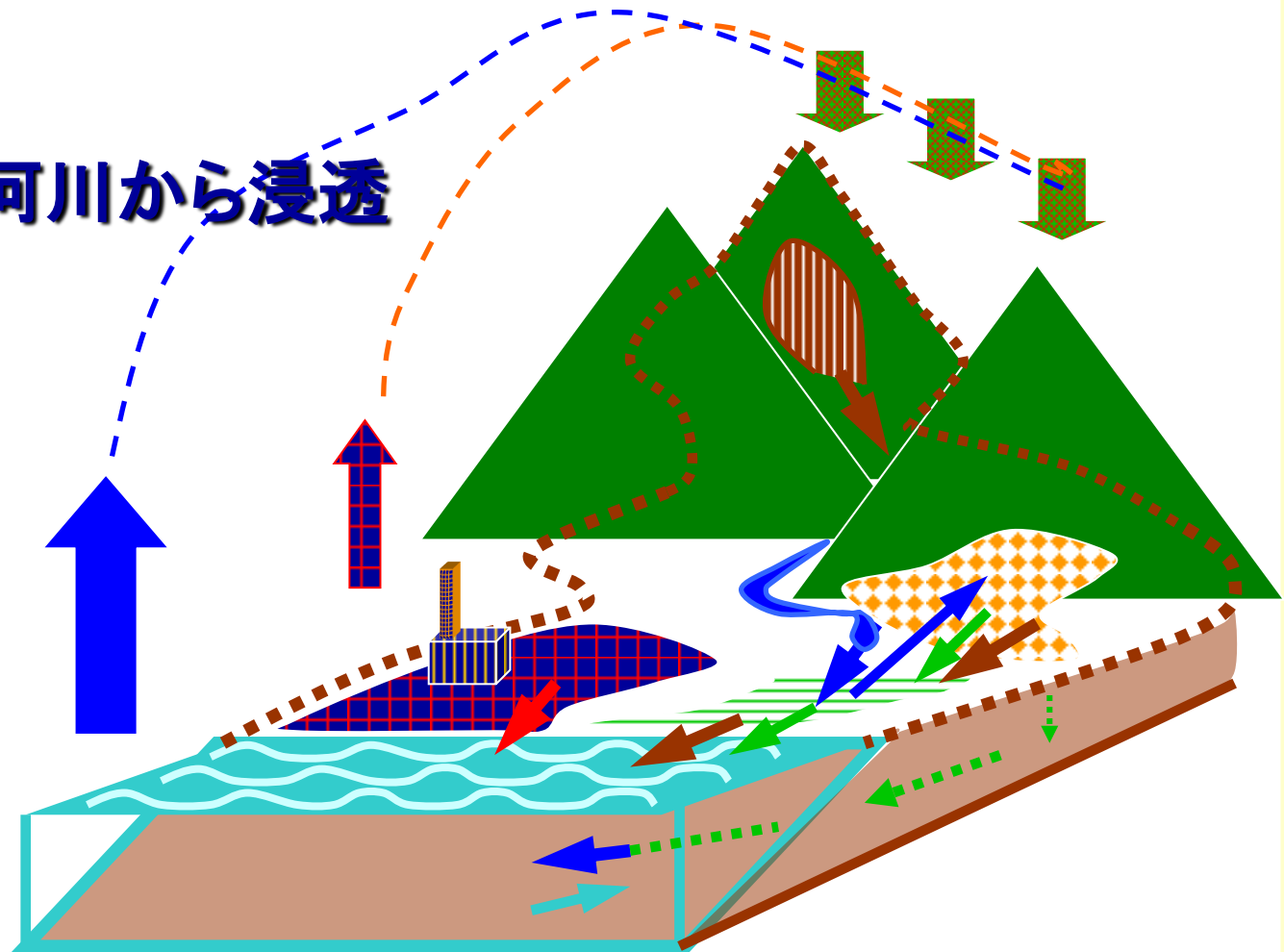
都市；人間一生活

地下水への物質負荷； 生活廃水、産業排水、大気汚染

@N、重金属、有機物

直接；浸透

間接；排水河川から浸透



沿岸域 ; 都市域

- 陸水(淡水地下水) ; 地下水汚染



- 海水・汽水 ; 富栄養化、海洋汚染

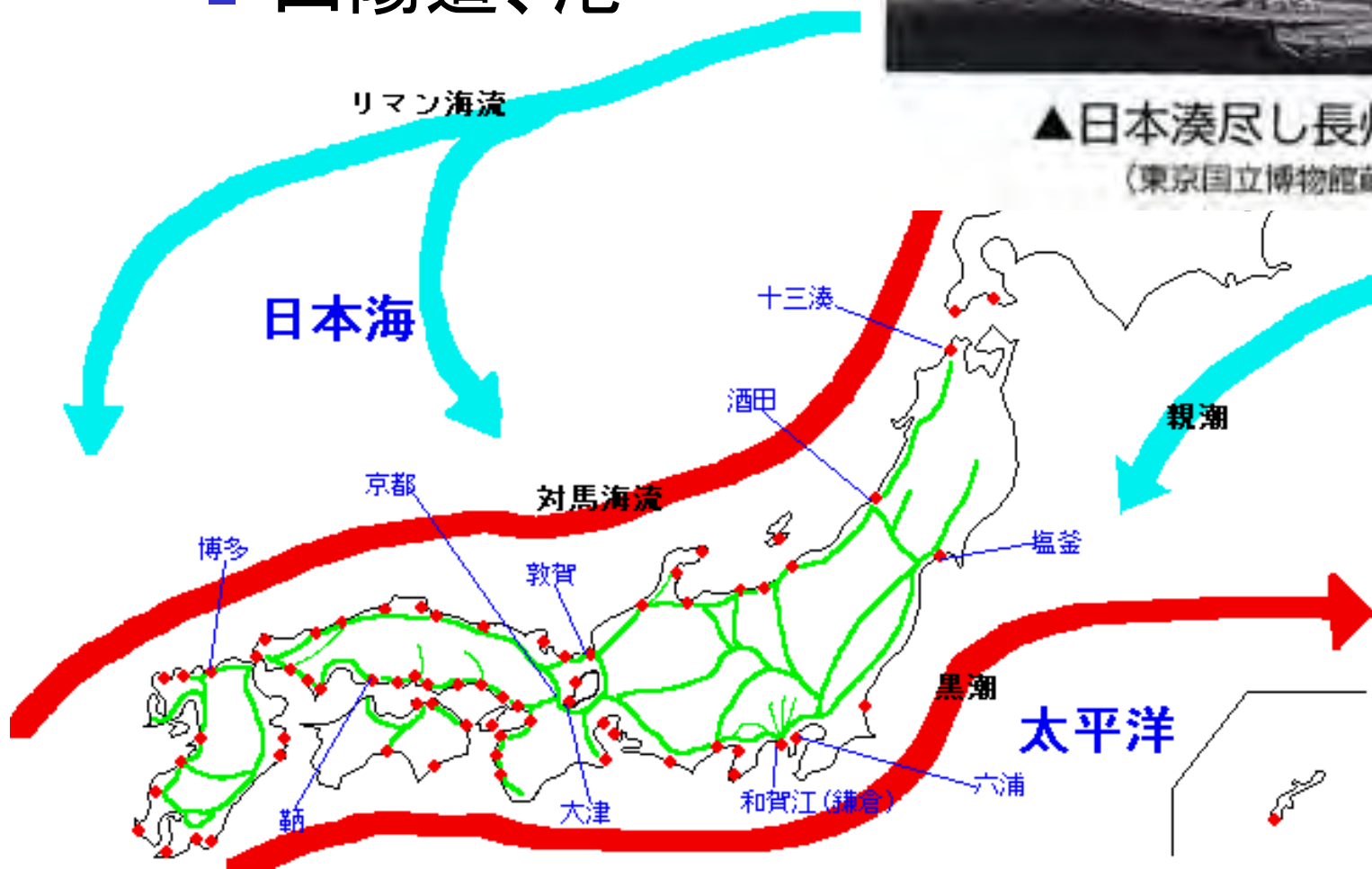
@垂れ流しではない。

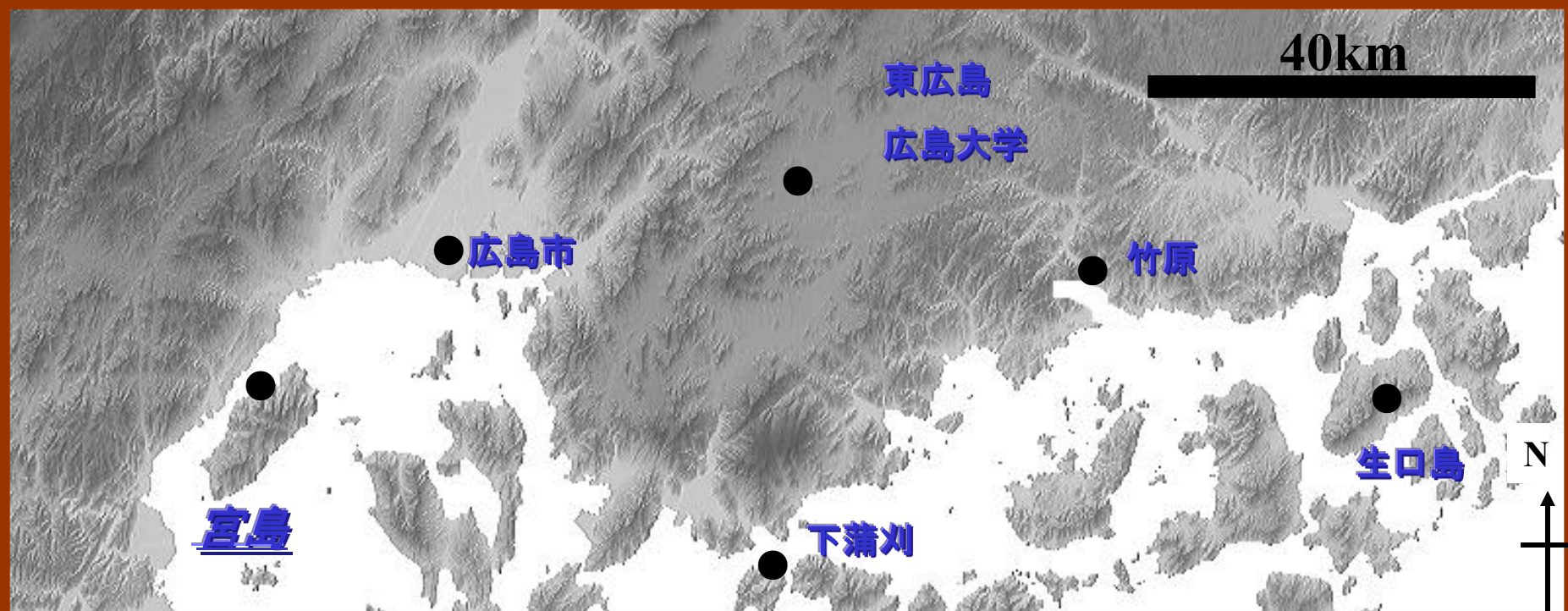
瀬戸内海沿岸

■ 山陽道、港



▲日本湊尽し長州下関
(東京国立博物館蔵)



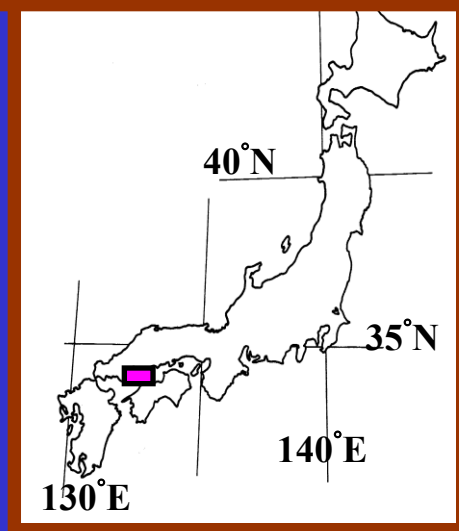


瀬戸内海沿岸

宮島、下蒲刈島、竹原（旧主要地域）

広島、東広島（現在中国地方拠点）

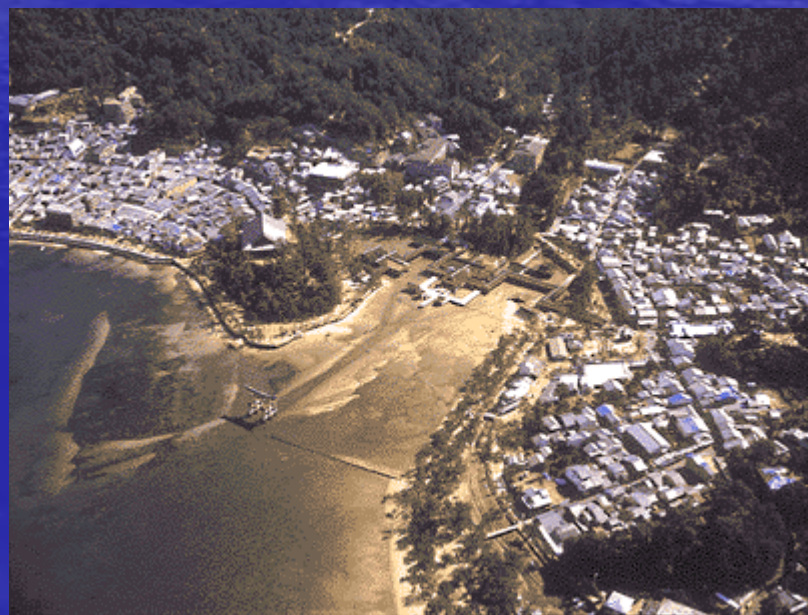
生口島（農地）



嚴島神社



- 593年建立(推古天皇)
- 1198年社殿造営(平清盛)
- 1571年改築(毛利元就)
- 1996年世界遺産指定



厳島神社

- 潮位変動
- 海際に立地
- 背後が山地



日本三景ピンチ

天橋立 猛暑で?松枯れ

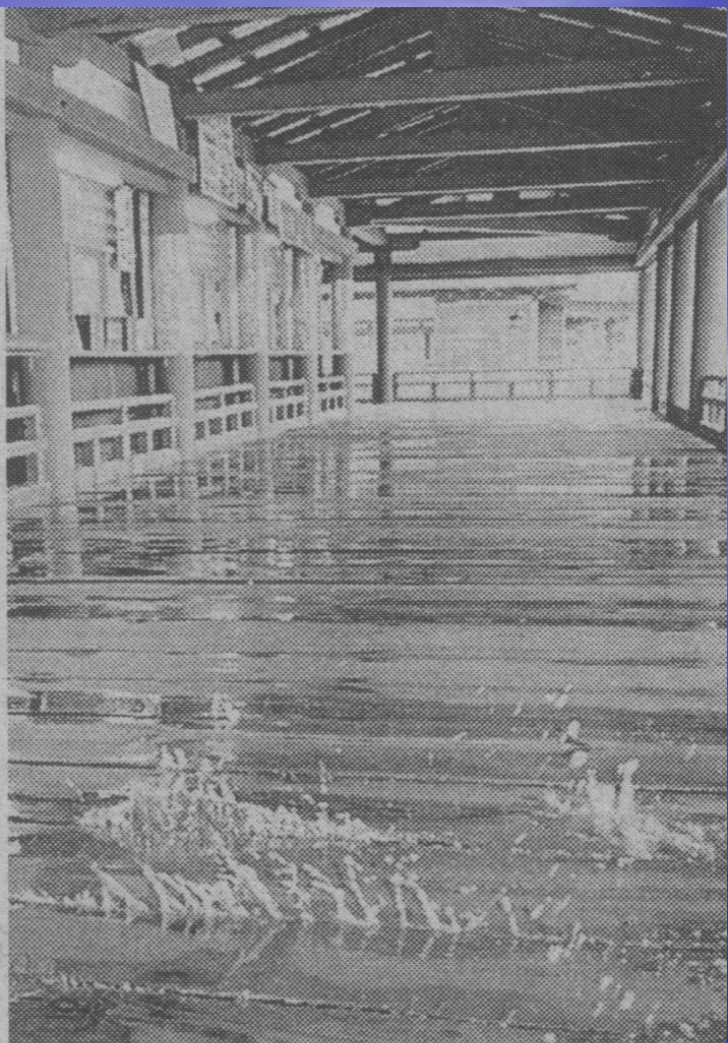
国の特別名勝で日本三景の一つ、天橋立(京都府宮津市)で、近年にない松枯れ被害が起きている。今夏の猛暑と少雨の影響で、害虫が異常繁殖

したのが原因とみられる。一帯を管理する京都府は、とくに被害のひどい約100本について、17日から伐採を始めた。天橋立では、南北に延びる延長約3・6kmの公園内に樹齢数百年から数十年の黒松が約5200本ある。

府宮津土木事務所は毎年6月、薬剤を散布して駆除しているが、今年はまったく効果がなく、このまま放置すれば被害が広がる恐れがあるため、伐採を決めた。今後、専門家に原因調査を依頼し、保全対策を検討する。

厳島神社 温暖化で?浸水

日本三景の一つの宮島にあり、世界文化遺産に登録されている厳島神社(広島県宮島町)で17日、異常潮位のため神社の入り口が海水に浸り、



異常潮位で満潮時に厳島神社の回廊の床からは海水が噴きあがった—17日午前10時すぎ、広島県宮島町で

朝日新聞2001年10月18日
例年3回が今年8月以降で10回浸水

下蒲刈島



朝鮮行使の経由港

←階段状の岸壁；
潮位変動に対応

下蒲刈島



2002/10/10 11:



2002/10/10 10:39am

↑江戸時代から使用
された井戸(海から
100m)
←港に迫出した家屋
石垣で防護

竹原(安芸の小京都)

- 港町、塩田、酒造で栄えた
- 小早川隆景氏



竹原

- 現在も航路の拠点



広島



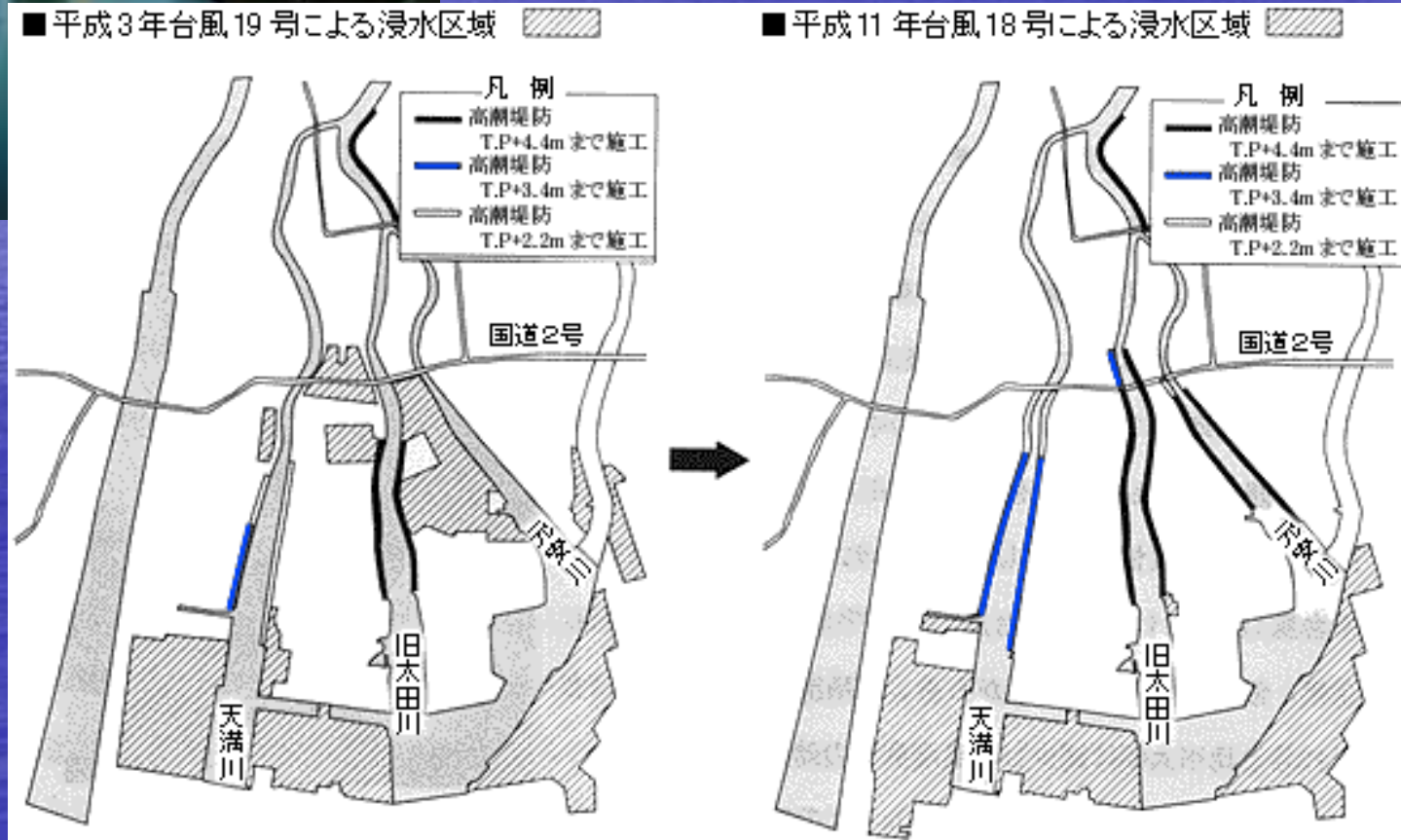
- 大田川デルタ





高潮の影響

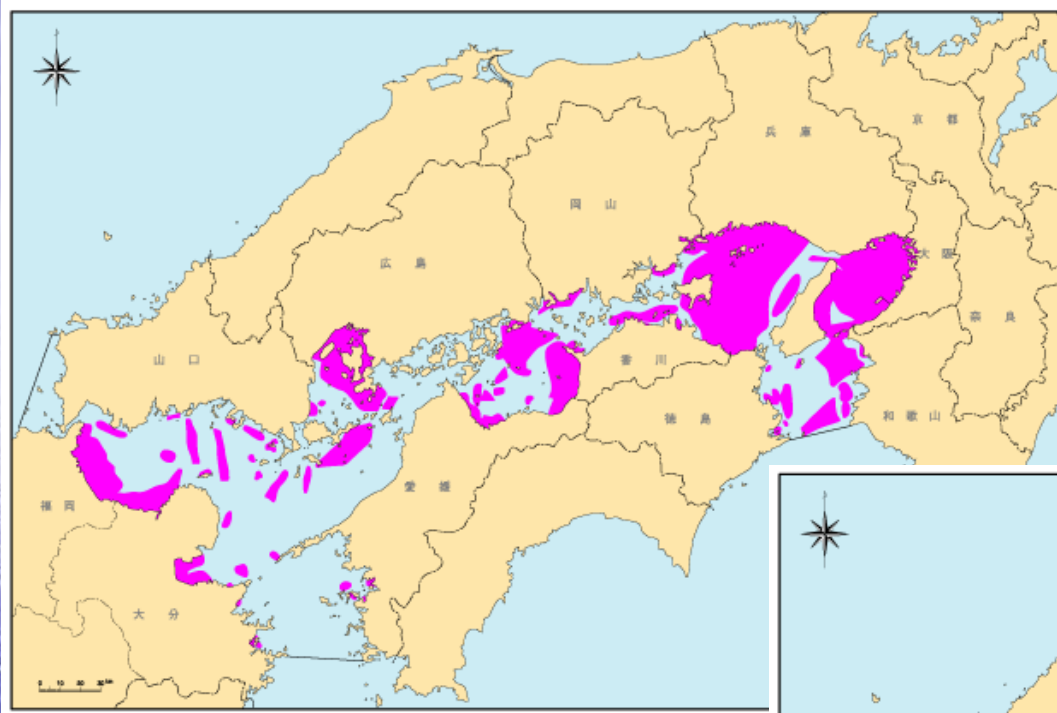
- 地下水の塩水化



瀬戸内海の環境問題→富栄養化

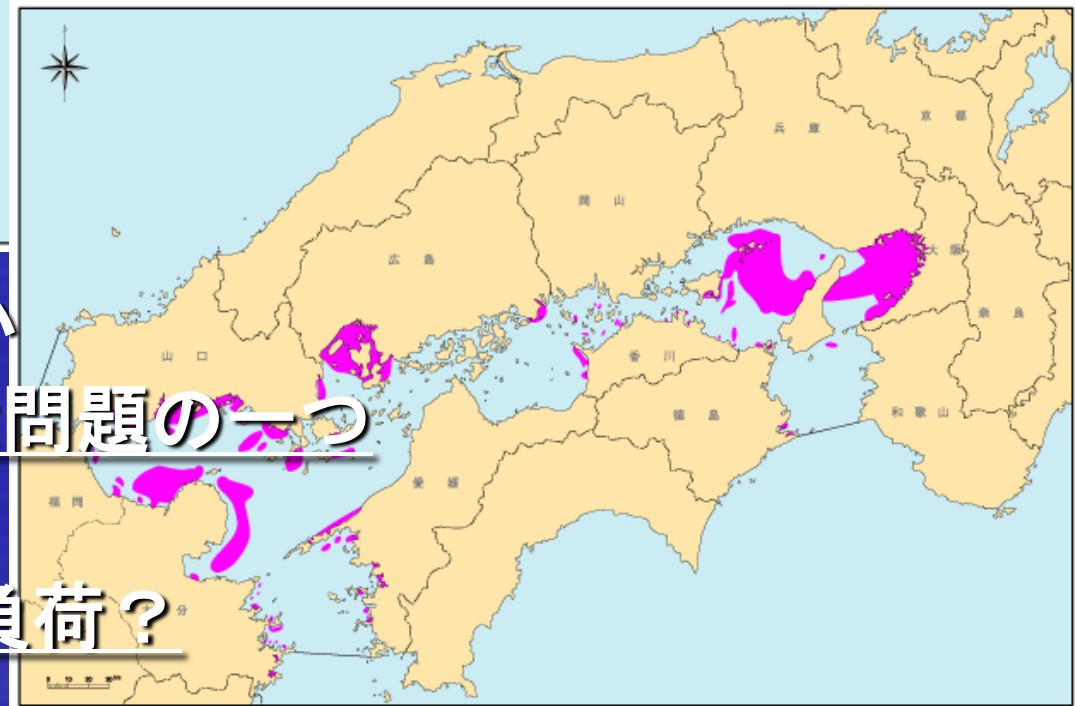
赤潮発生域

平成10年



- 13年間で発生域縮小
21世紀に残された環境問題の一つ

→陸域・地下水からの負荷？



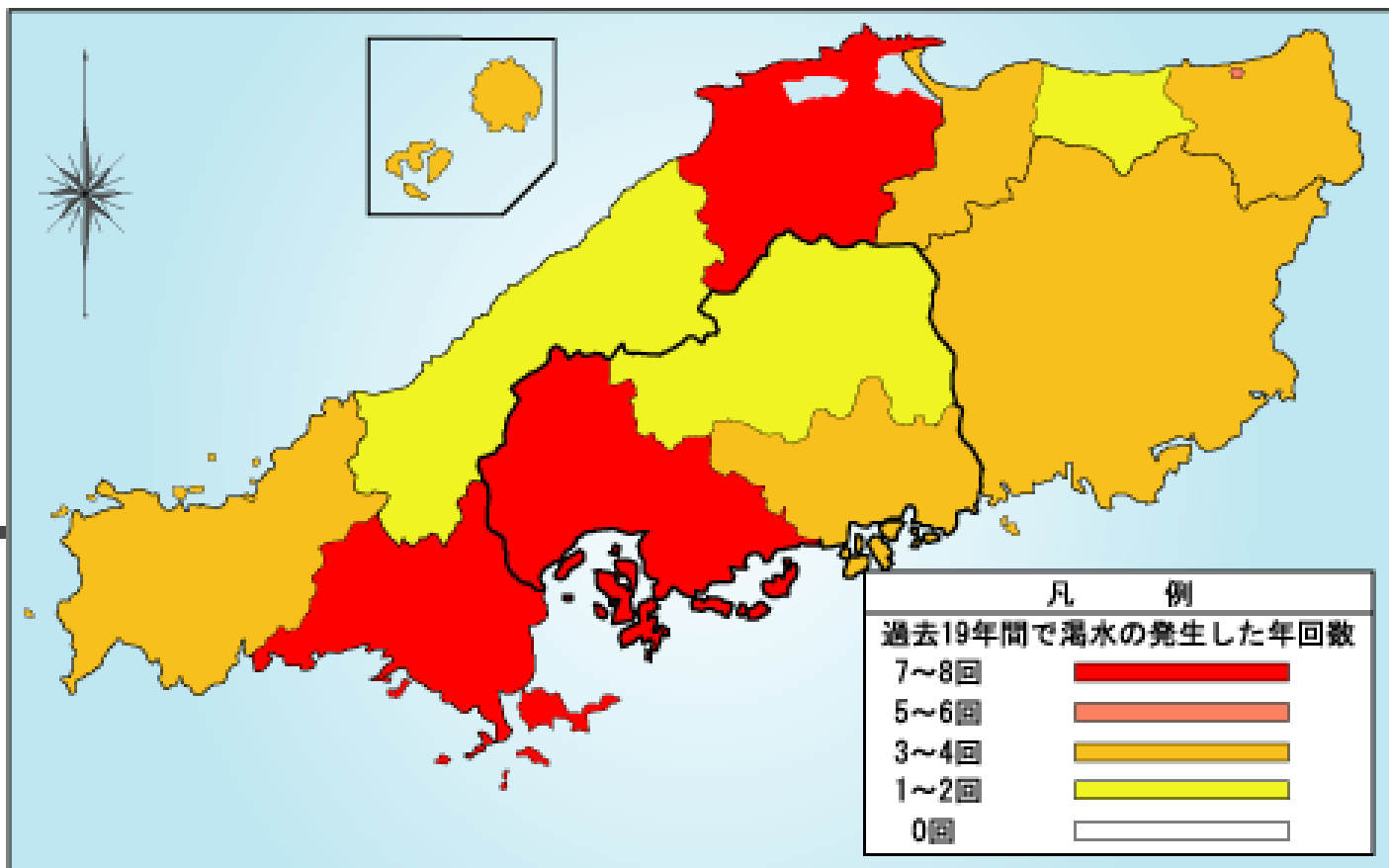
水域富栄養化問題

陸域の栄養塩負荷量の見積もり

- 河川流出 $Q_r(F_r)$; 基底流、洪水流出
- 地下水流出 $Q_g(F_g)$ (直接水域への流出)
 - Zektser & Loaiciga(1993)
 - $0.06Q_r=Q_g$
 - $0.5F_r=F_g$ @**栄養塩としての流出機構は重要**

@斜線部は、Hubberd Brookで行われていない。

→ **重要**



過去の渇水状況；地下水の需要高い

地下水中のNO₃⁻-N濃度

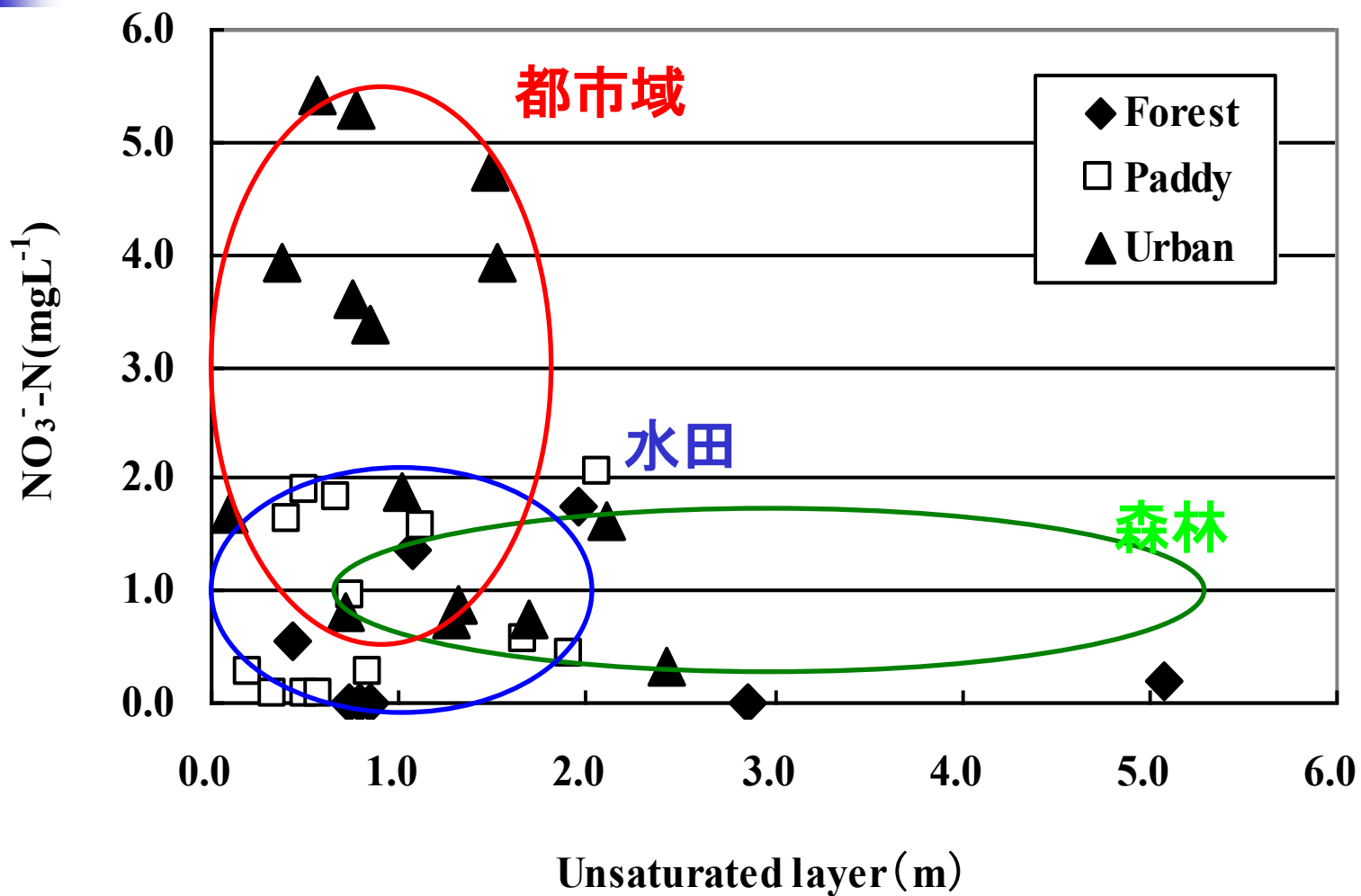
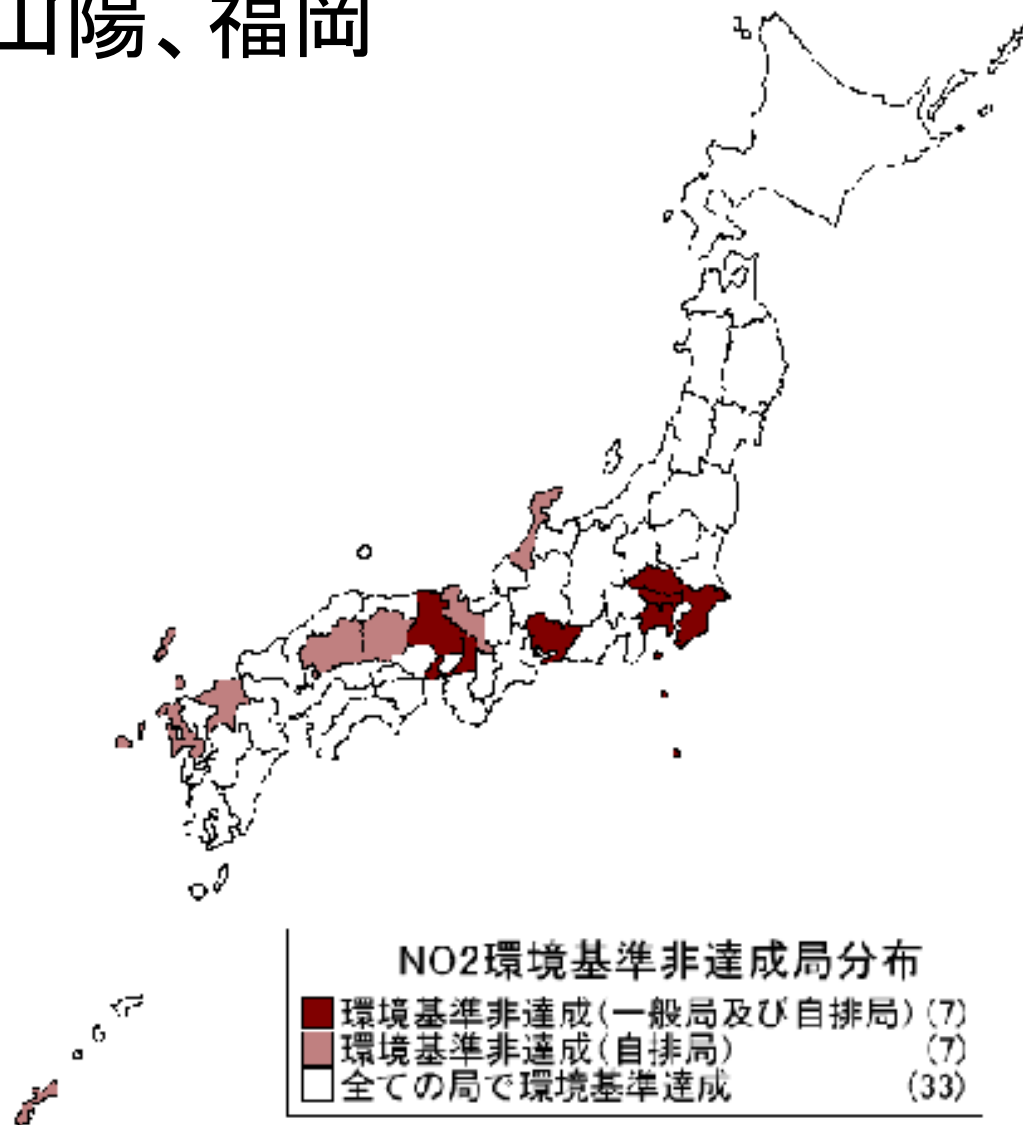


図1-3 環境基準非達成局の分布

関東、近畿、山陽、福岡

NO₂x



()内は都道府県数を表す。

Trace metal input in rainfall

Driscoll et al. (1994)

Table 13.1 Examples of concentrations of trace metals in precipitation at various sites. Note that concentrations are generally higher in industrialized areas and lower in remote regions

	Greenland ^a	Enewetak ^b	Washington State ^c	Bermuda ^d	S. Sweden ^e	N. Sweden ^e	SE USA ^f	Deleware ^g	N. Ontario ^h	SW Ontario ⁱ
Cd	0.013	0.002	0.012	0.06	0.13	0.041	0.04–0.25	0.18	0.09	0.16
Cu	0.05	0.013	0.14	0.66	2.3	0.85		0.68	1.3	1.4
Fe			9.8		27.0	9.8				
Mn		0.012	0.49	0.27	2.5	1.7	1.3–3.2	1.4	2.7	4.7
Pb	0.12	<0.04	0.15	0.77	3.8	1.8	3.2–5.6	3.0	2.3	7.0
Zn	0.3	0.05	0.99	1.15	10.0	4.1	4.9–10	6.4	4.0	9.0
Cr					0.16	0.064				
Ni				0.17	0.44	0.13		0.79	0.17	0.9
V		0.018		0.096	1.2	0.27		0.67	0.096	1.0

^aDavidson *et al.*, 1982; mean.

^bArimoto *et al.*, 1985; mean.

^cVong *et al.*, 1988; volume weighted mean.

^dJickells *et al.*, 1984; volume weighted mean.

^eRoss, 1990; annual volume weight mean.

^fLindberg and Turner, 1988; annual volume weight mean.

^gChurch *et al.*, 1984; annual volume weight mean.

^hOME, 1985; volume weight mean.

ⁱChan *et al.*, 1982; annual volume weight mean.

rural urban

Soil

*t; soil thickness

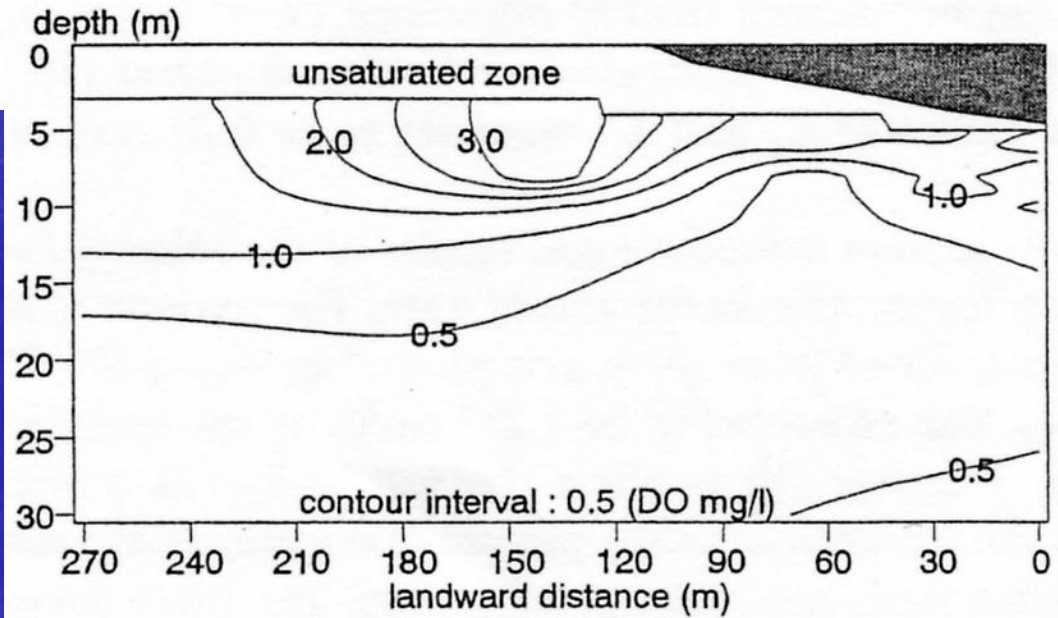
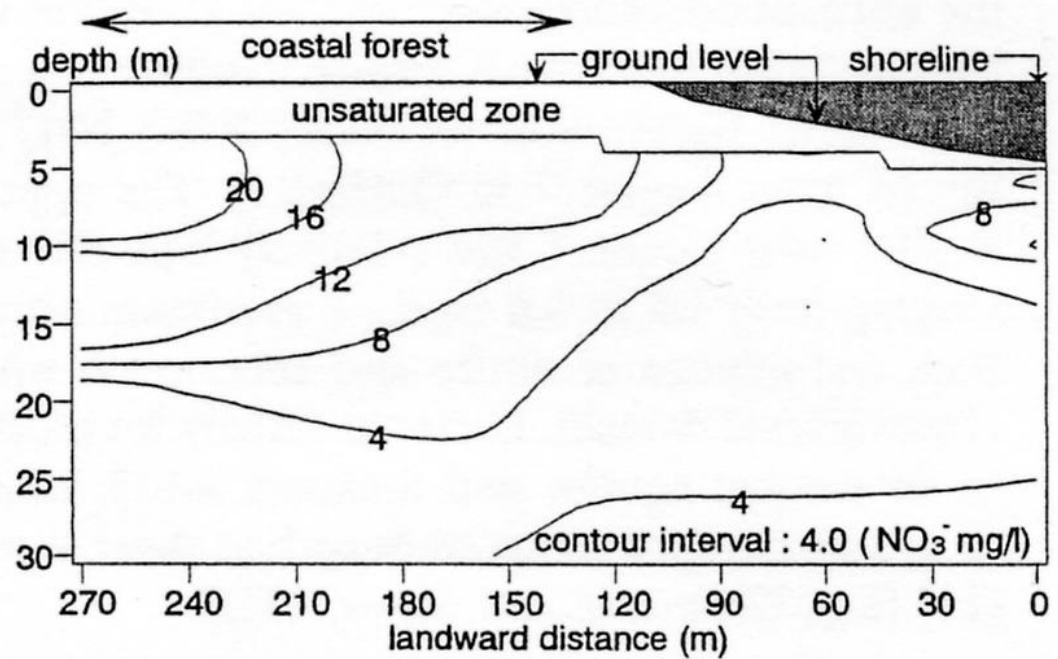
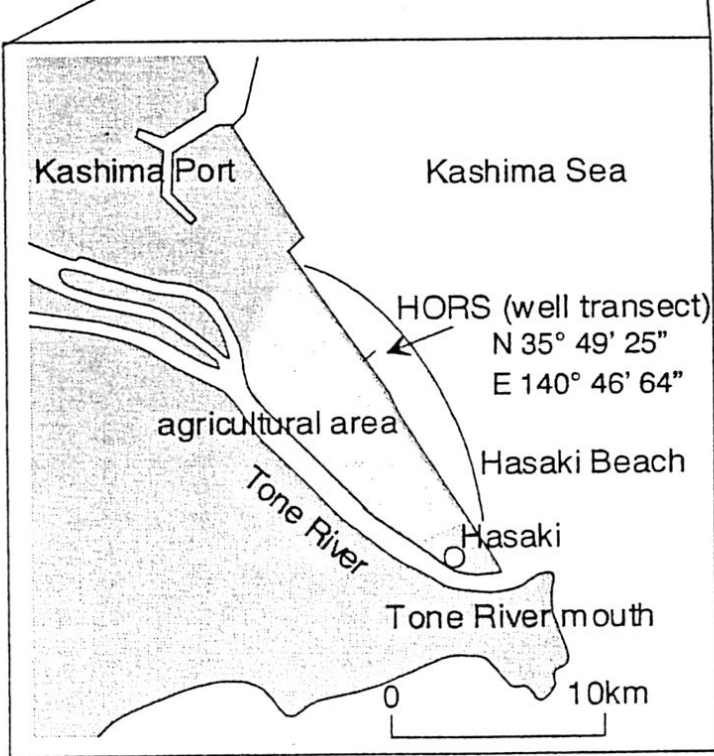
<u>(mol ha⁻¹ y⁻¹)</u>	<u>Mn</u>	<u>Zn</u>	<u>Pb</u>	<u>Cu</u>	<u>t* (cm)</u>
A h	<u>13.0(3y)</u>	--	<u>4.9(10y)</u>	--	2.0
sub layer	<u>83.2(18y)</u>	--	--	--	50.0

Input (precipitation)

(mol ha ⁻¹ y ⁻¹)	4.5	2.1	0.5	0.7
---	-----	-----	-----	-----

@ Mn, Pb ; 吸着傾向

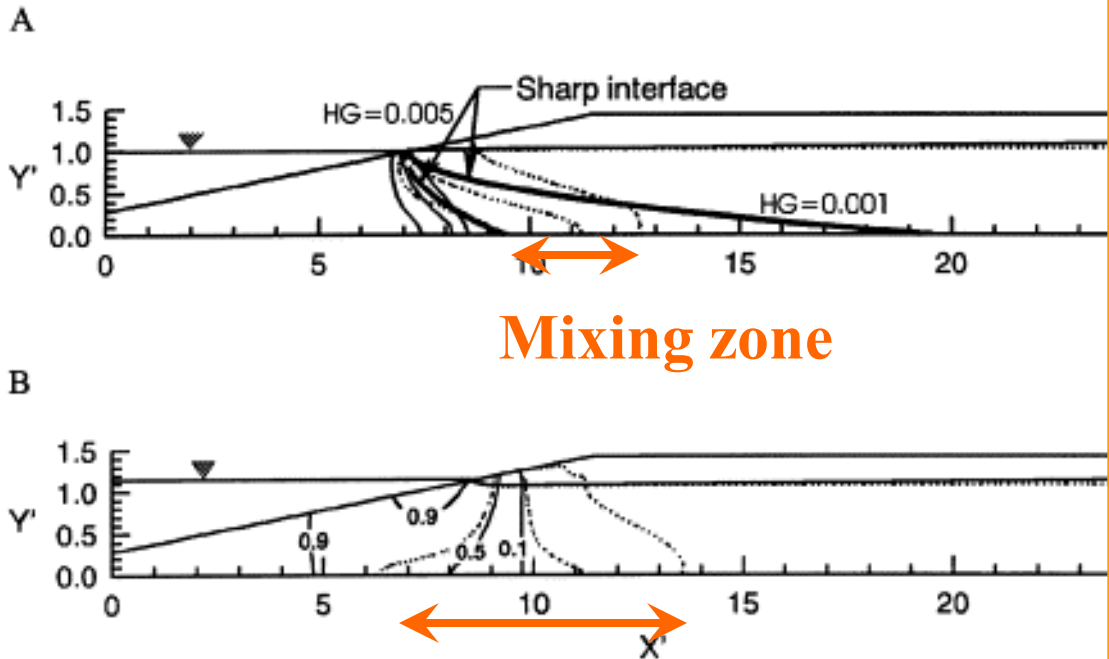
@ Zn, Cu ; 反応なし



(d) D.O.

茨城県波崎
利根川河口域
(Uchiyama, 2000)

瀬戸内海；潮位変動大？



Ataie-Ashtiani et al. (1999)

Salt concentration contours in case (a) without tidal variation, (b) at high tide with variation.

*contours are 0.1, 0.5 and 0.9 from the land

* hydraulic gradient is 0.005 (solid line) and 0.001 (dotted line)

Tidal variation

→ mixing of groundwater and seawater

@ hyporheic zone expands

in the coastal area with the large tidal variation

Solute transport in shallow groundwater around coastal zone

- NO_3^- -N decrease with groundwater flow →
 - low concentration in coastal zone
- Hyporheic zone = denitrification zone?
 - Hiroshima; tidal variation of 4m
- N flux in hyporheic zone around sea ?

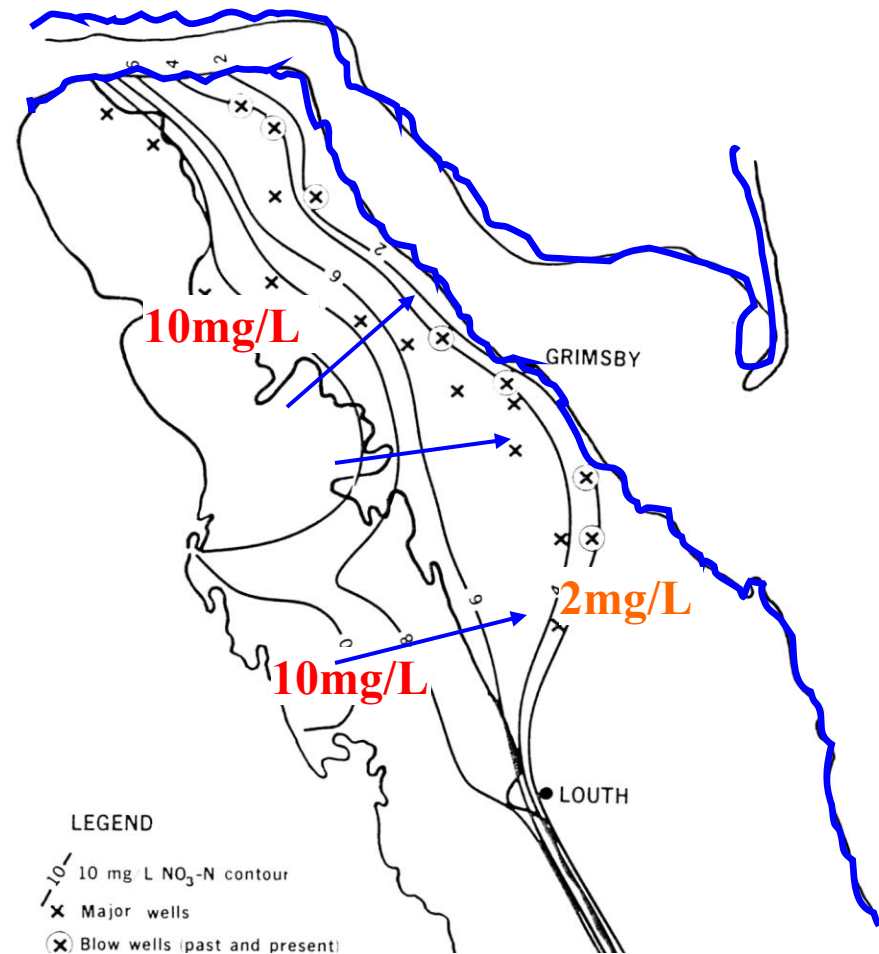
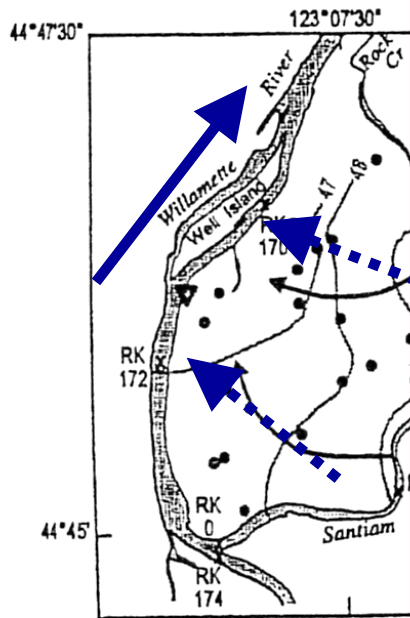
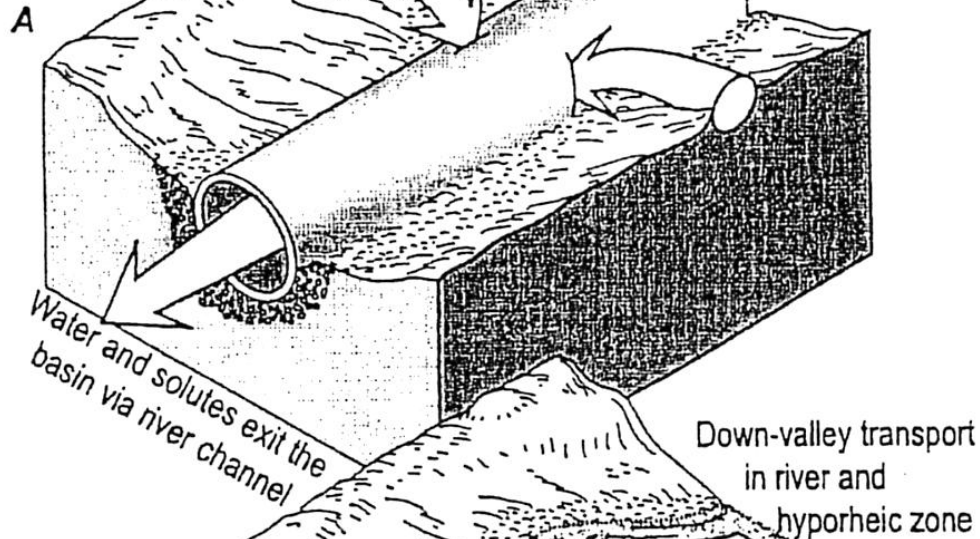


Fig. Nitrate concentration in marine aquifer. *Howerd(1985)*



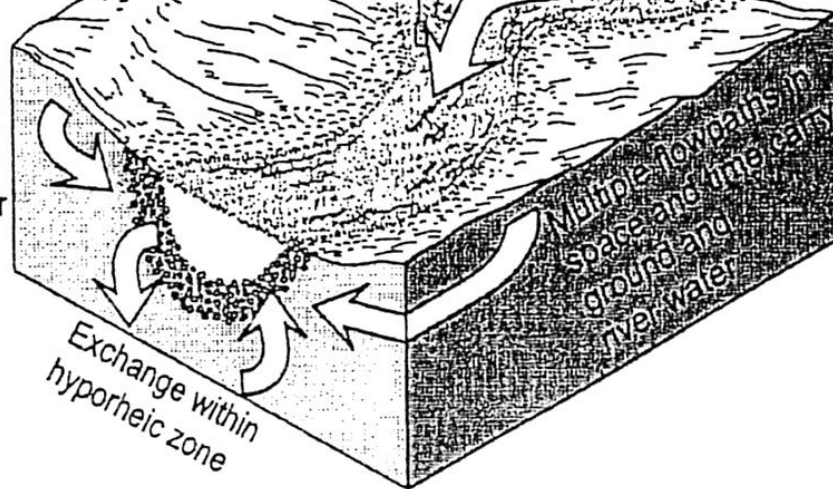
Water and solutes move from aquifer to river

A

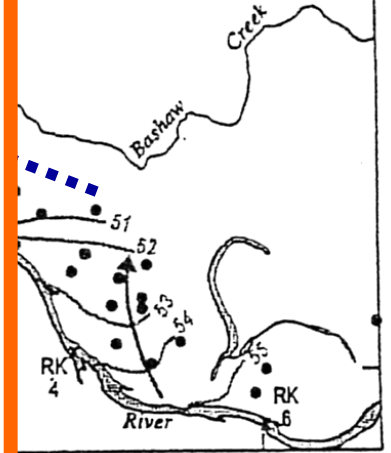


B

Aquifer input into river



123°05'
November 4, 1994



d.

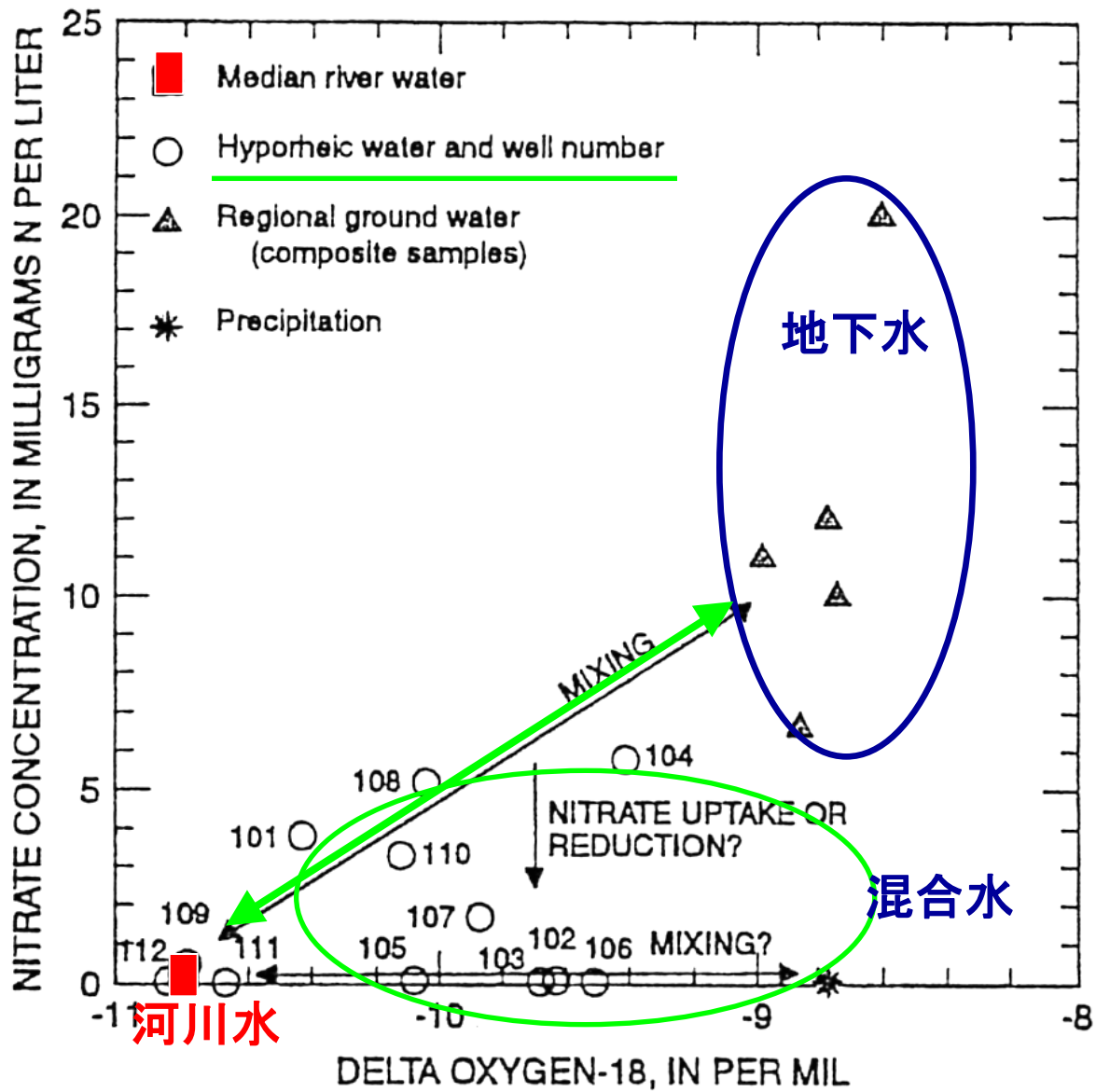


Fig. 8. Relationship between $\delta^{18}\text{O}$ values and nitrate concentrations for samples from regional ground water, river water, and hyporheic water.



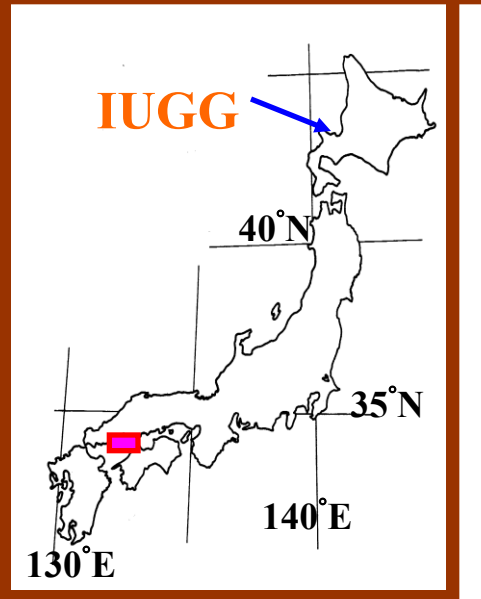
Climate ;

Temprate, slightly wet

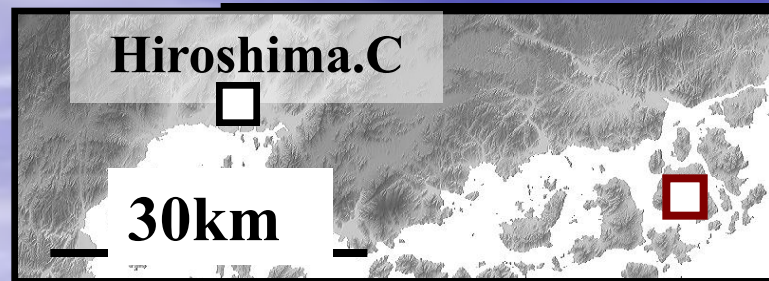
an.precipitation; 1100mm

Topography; Steep

Tidal property; 4m at spring tide



◆ 試験流域 (広島県豊田郡瀬戸田町・生口島)

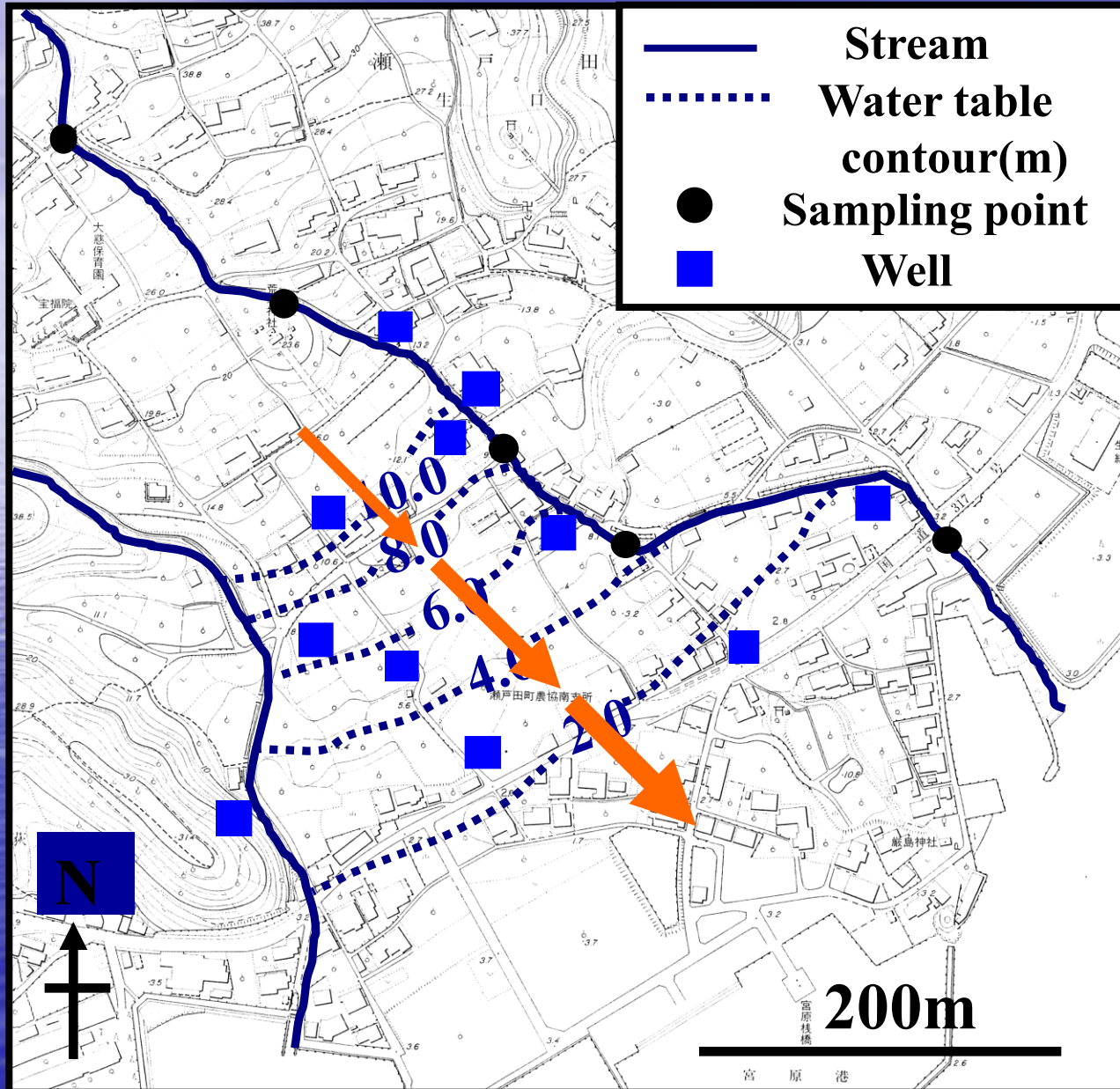


流域面積 : 44.3ha
流下距離 : 1.75 km
基盤地質 : 花崗岩



■地下水による窒素流出過程（生口島）

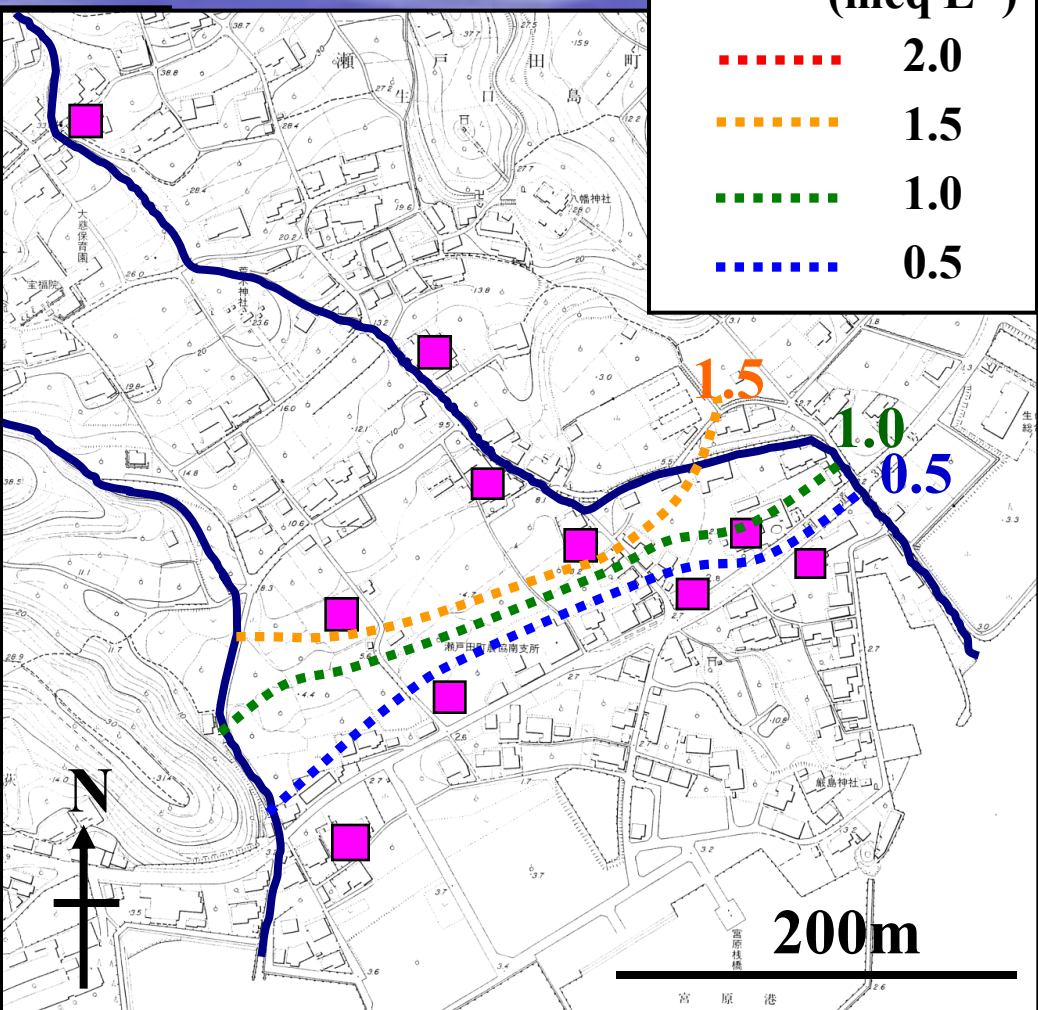
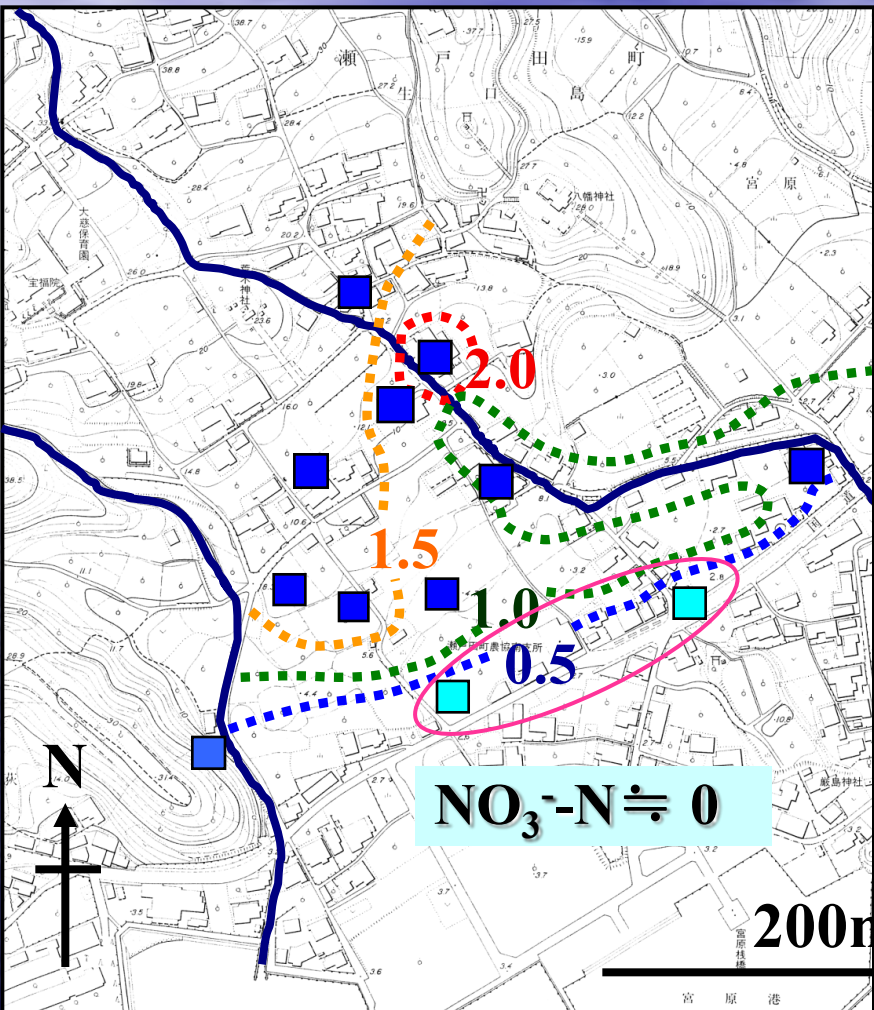
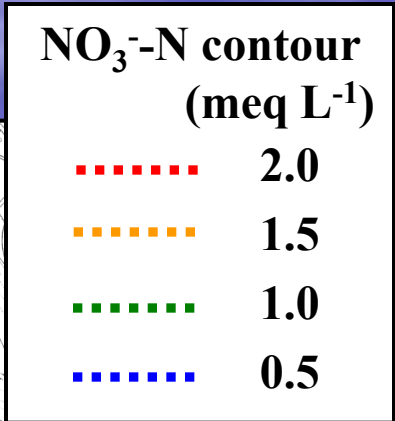
Saito et al.,
2003



■ NO₃-N濃度分布

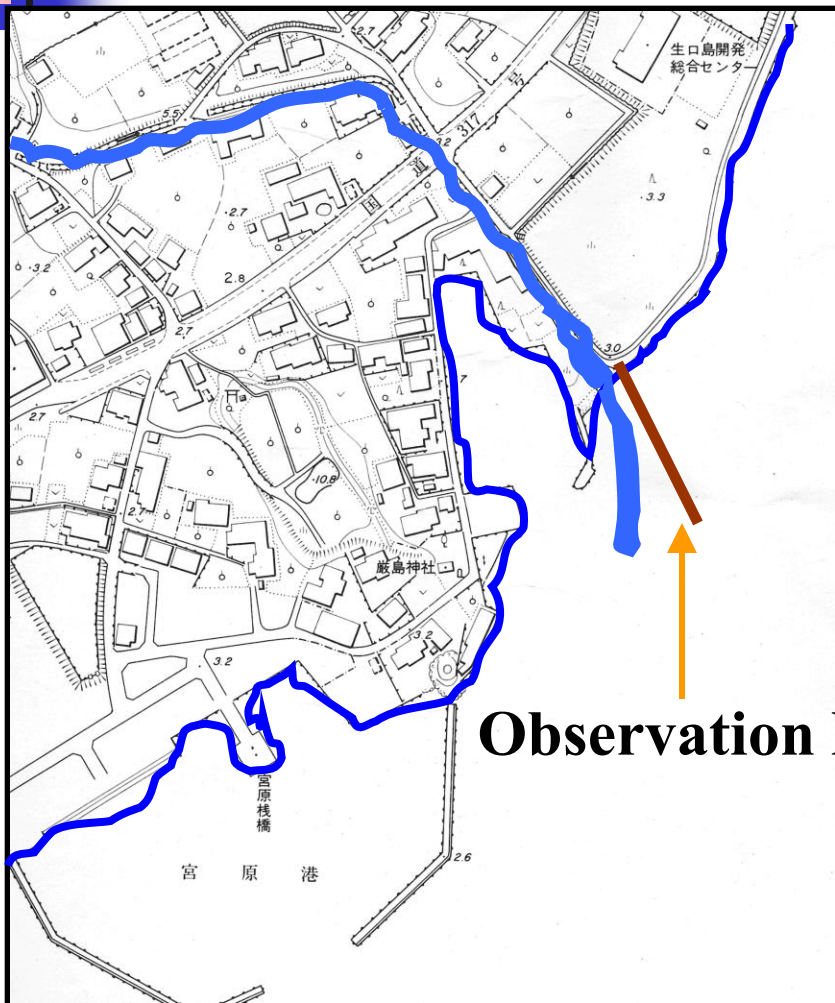
Low flow

High flow



地下水流動（上流 → 下流）にともない NO₃-N濃度低下

Observation site at the riverside on the beach

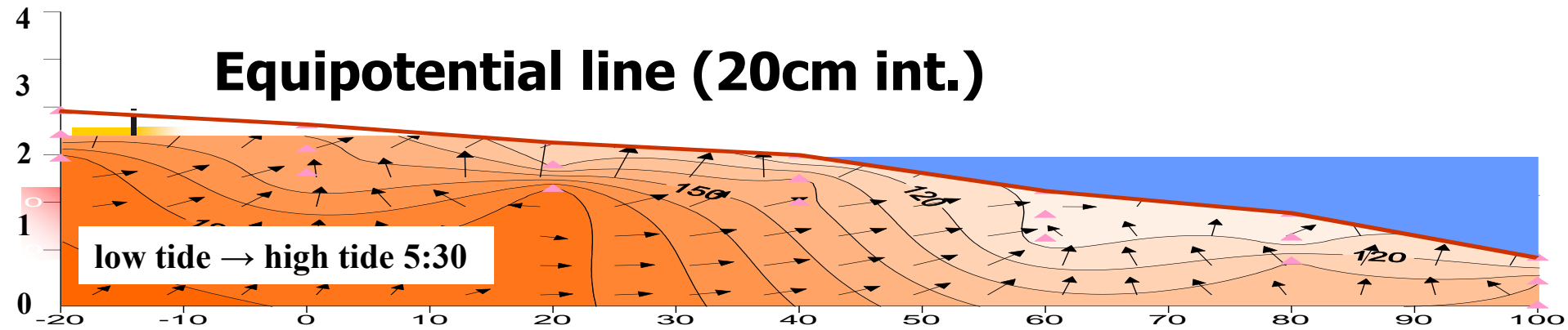


Observation line

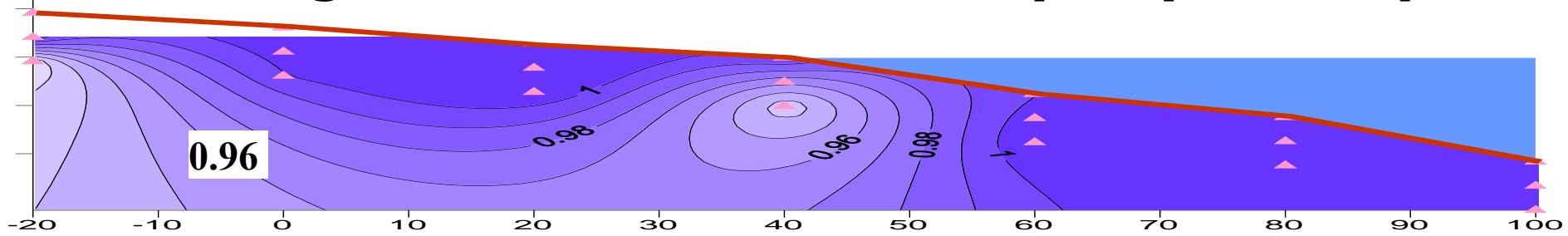
October, 2002 and May, 2003

@piezometer and water collection

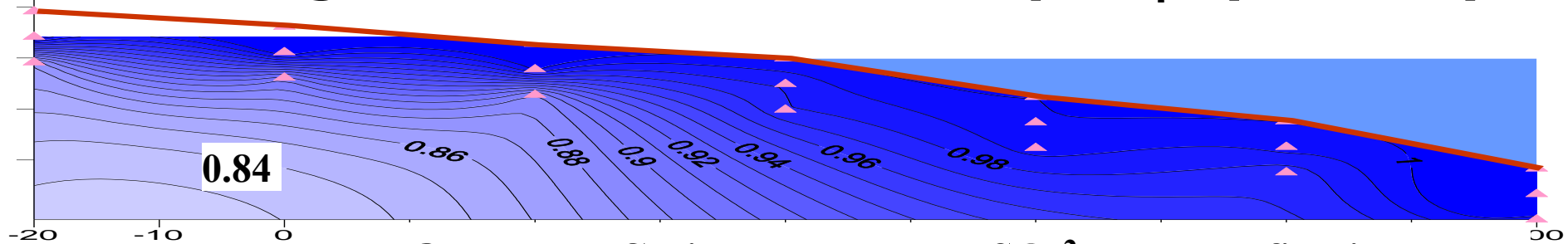
Equipotential line (20cm int.)



Mixing ratio of S.W. calculated by Cl⁻ (0.01 int.)



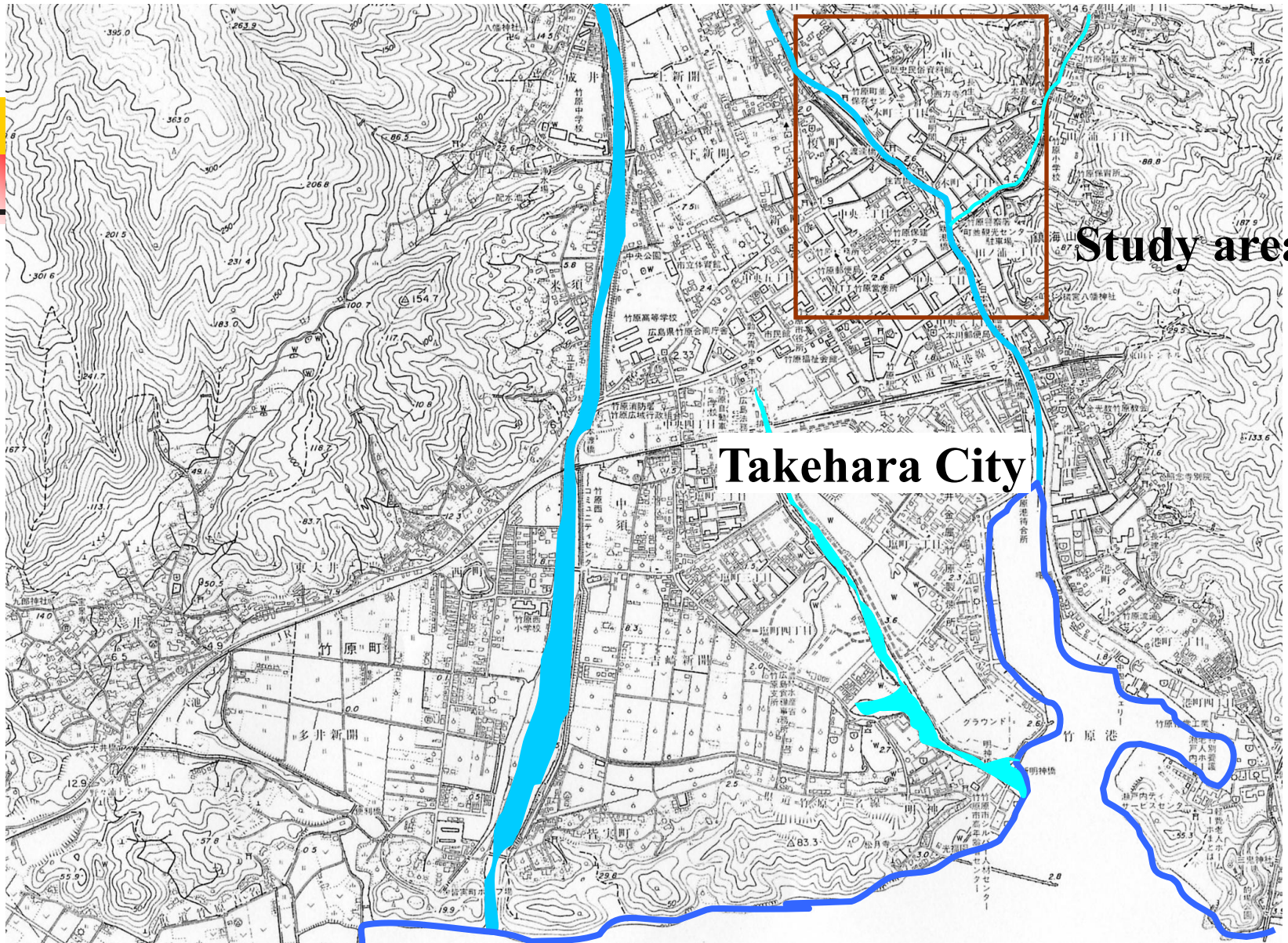
Mixing ratio of S.W. calculated by SO₄²⁻ (0.01 int.)



@ That by Cl⁻ is more than by SO₄²⁻ → desulfication

* little NO₃⁻ by denitrification in a hyporheic zone

Current channel small channel



Study area

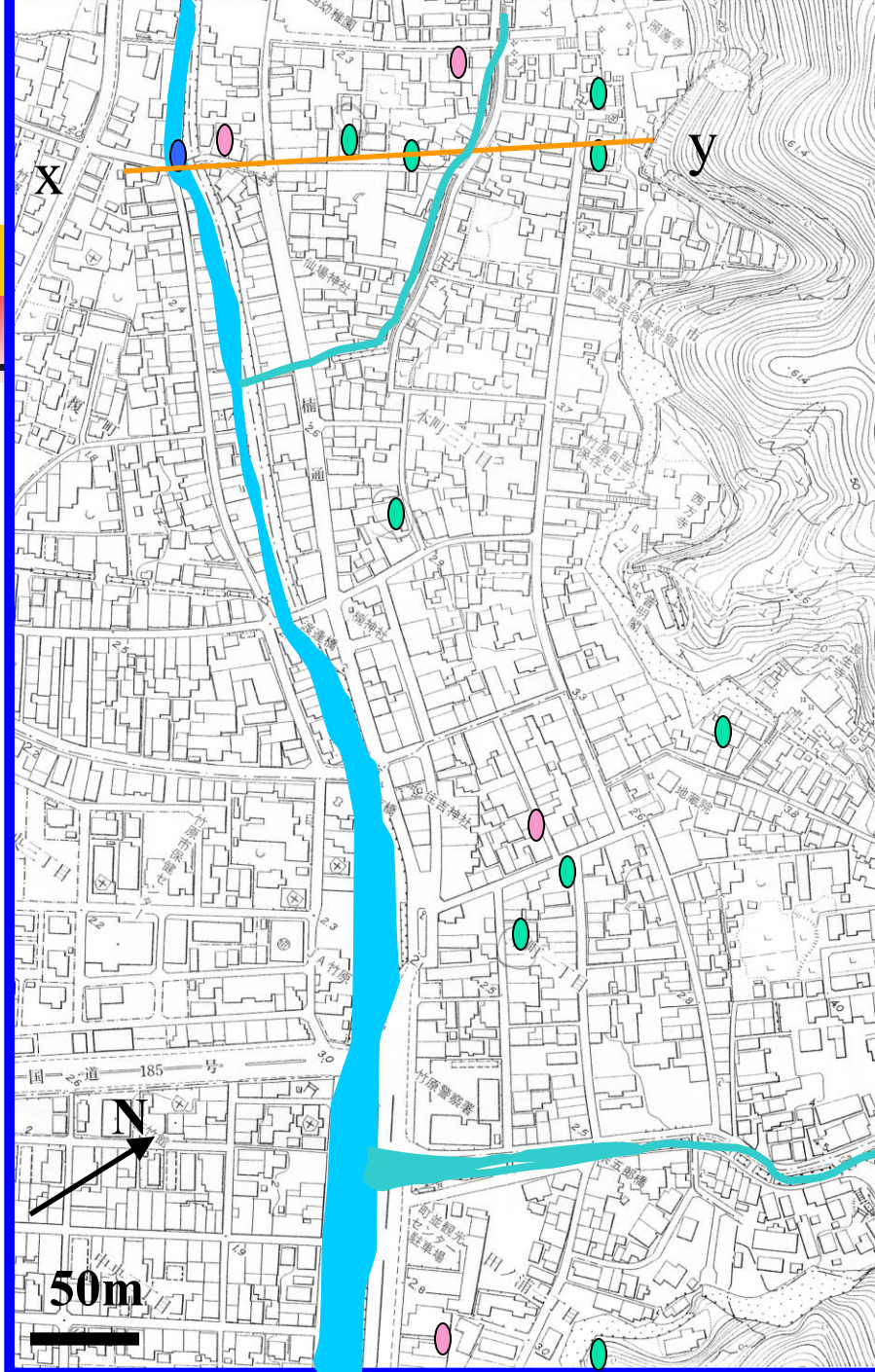
Takehara City

2km

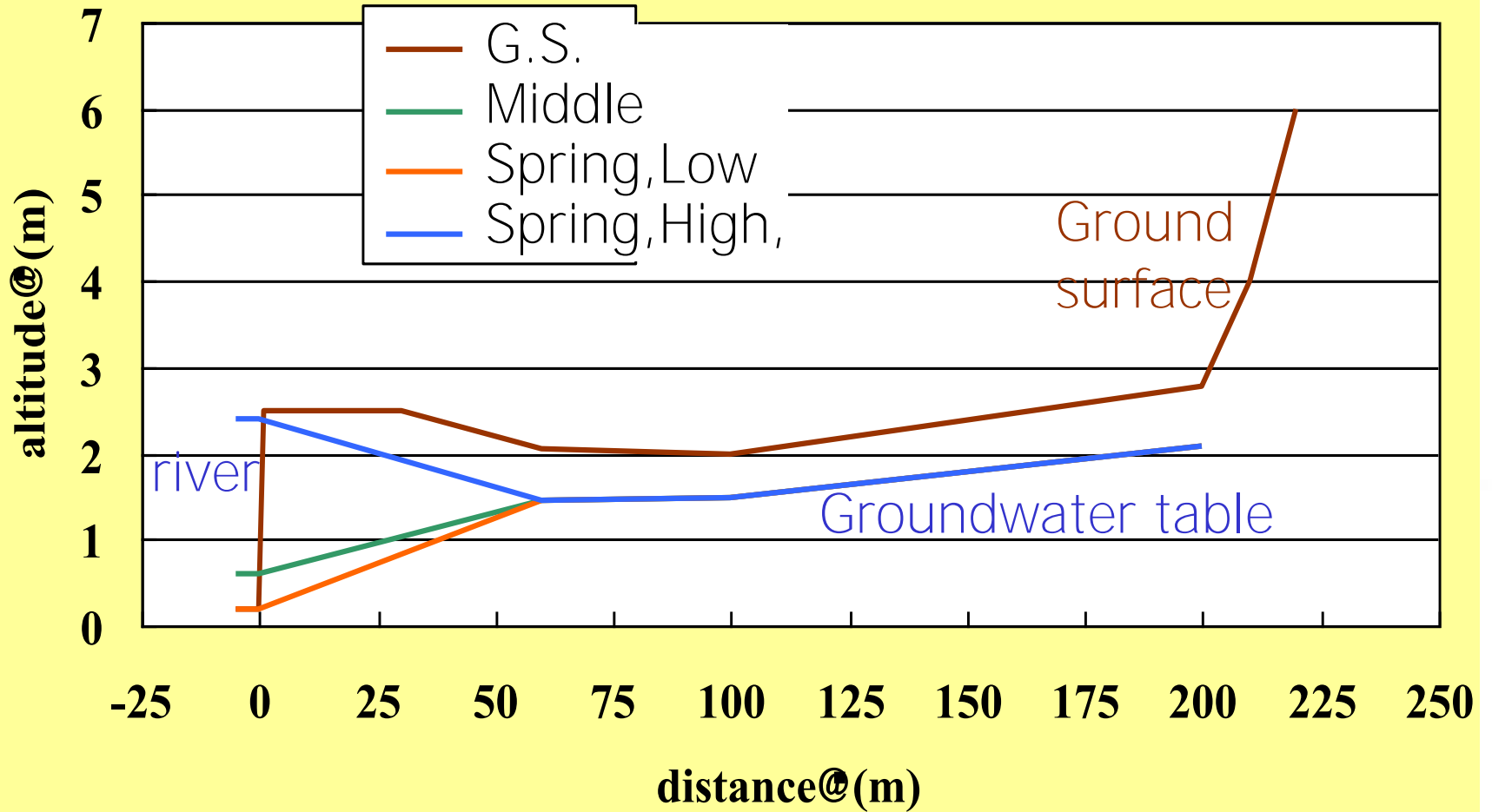
January, February, 2002

at the middle and spring tide

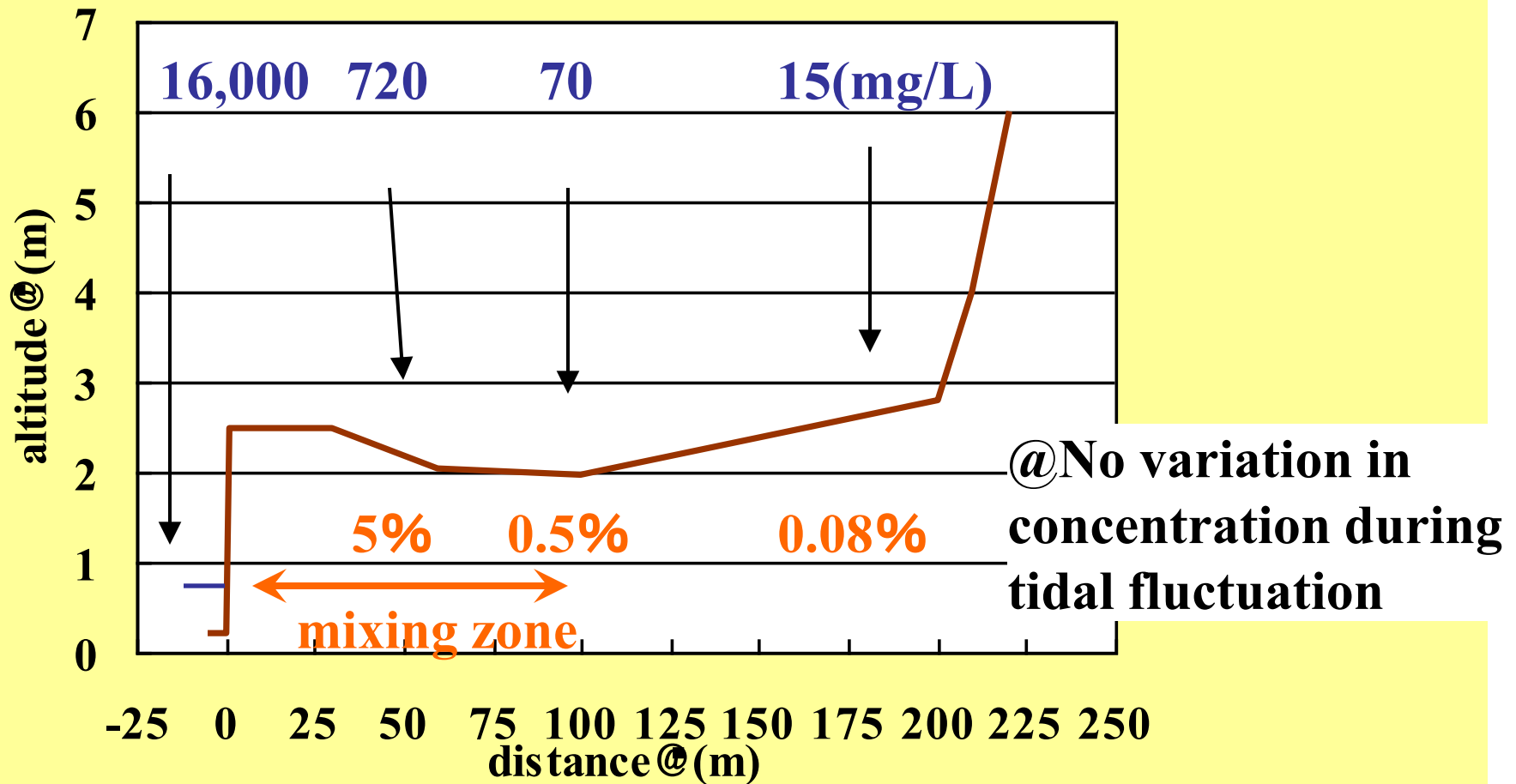
@ water collection,
chemical analysis



- Shallow groundwater
- Deep groundwater



Groundwater table gradient in x-y profile



Cl⁻ concentration and **mixing ratio of seawater** in shallow groundwater

NO₃⁻-N concentration in shallow groundwater

in the area of 100m around the river; not detected
= mixing , hyporheic zone

@**mixing** of **S.W.** and **G.W.** ;

$$\textcircled{3} = \textcircled{1} + \textcircled{2}$$

$$\text{Cl}^- \quad 720 = a \ 16,000 + b \ 15$$

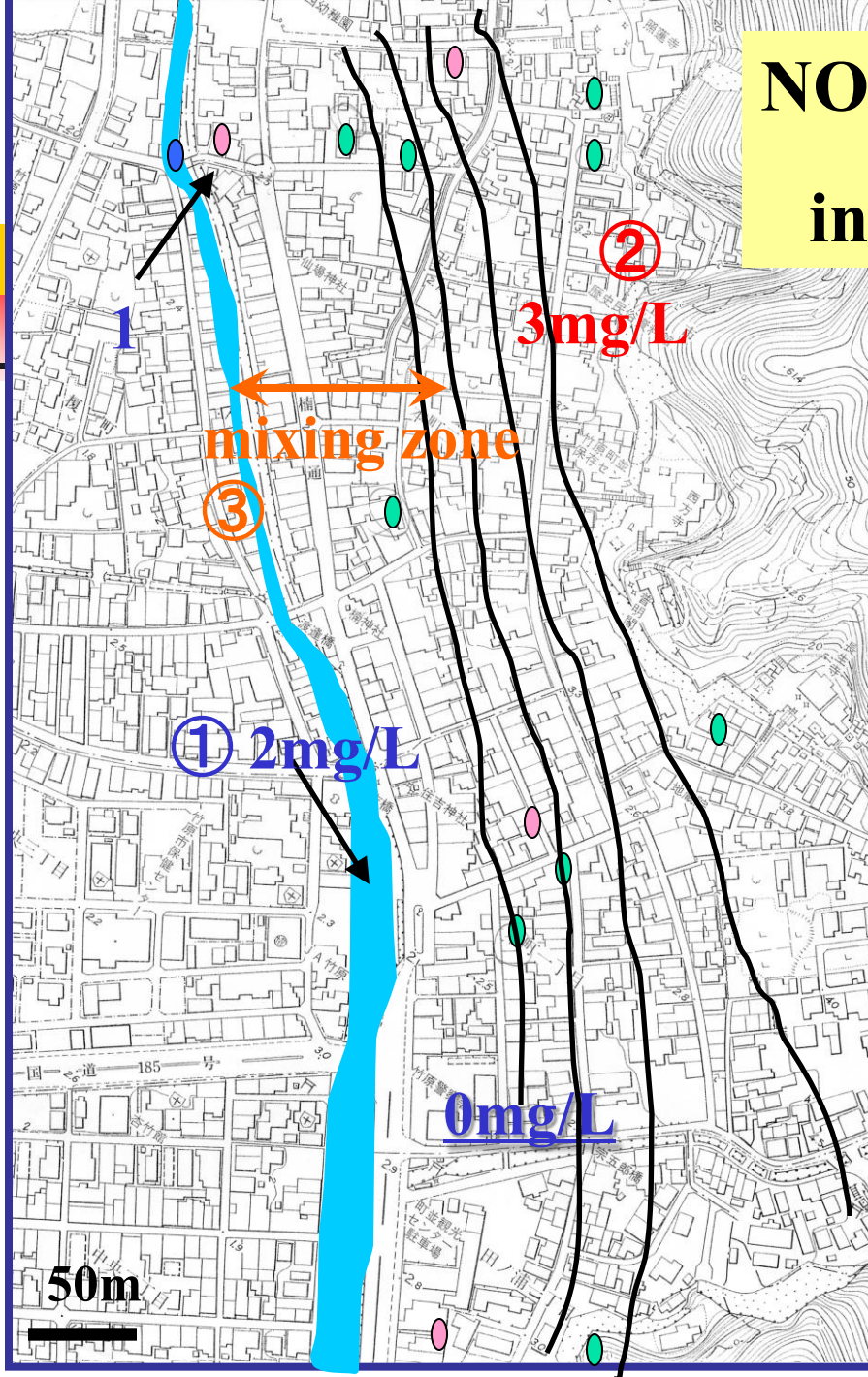
$$\text{NO}_3^- \quad 2.9(\text{cal}) = a \ 2 + b \ 3$$

0 (act) << D.G. 1

@**nitrate reduction** in
hyporheic zone

● Shallow groundwater

● Deep groundwater



Ca/Na

@ mixing = ①S.W. + ②G.W.

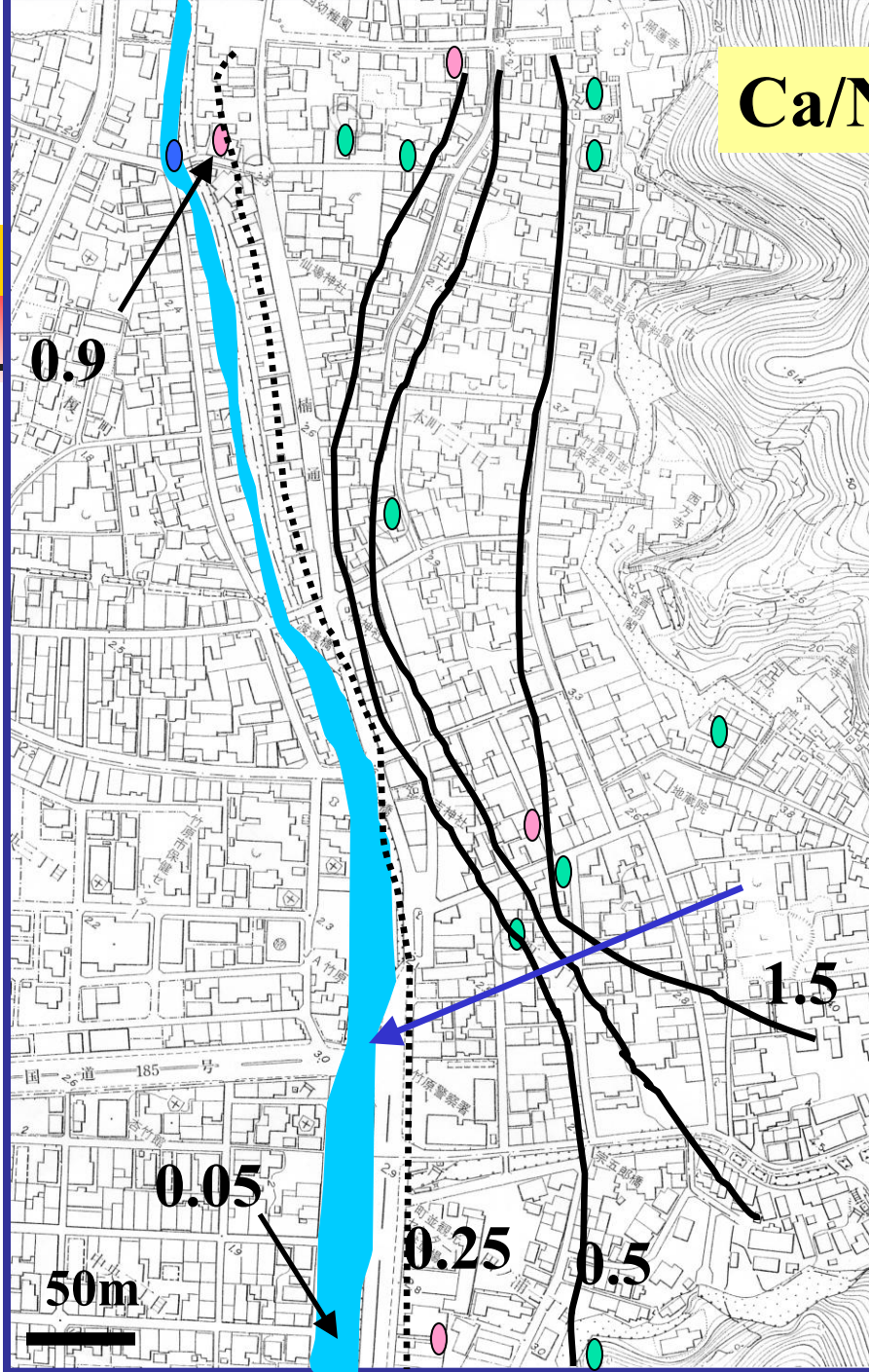
1.43(cal) 0.05 1.5

0.25(act) << D.G. 0.9



@ ion exchange of Ca to Na
deep groundwater ; little

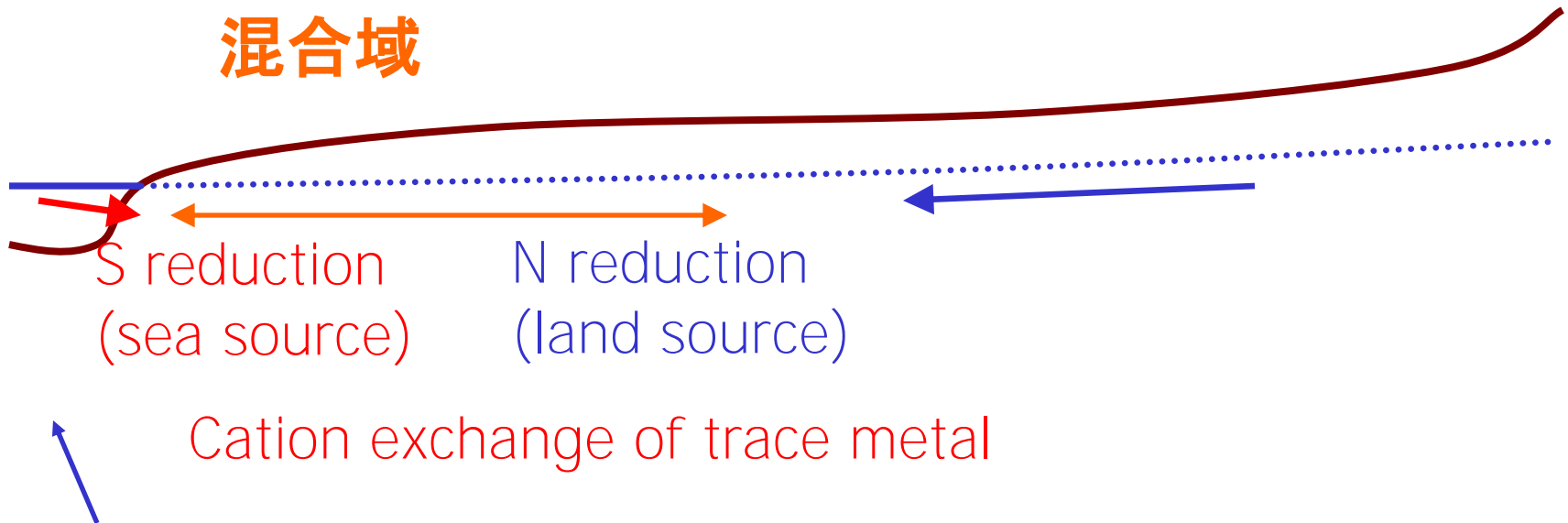
- Shallow groundwater
- Deep groundwater





混合域; Hyporheic zone

混合域



水路網



排水機能





まとめ

- 瀬戸内海沿岸域；
地下水汚染； 都市化、農地
- 瀬戸内海への流出
脱窒；窒素の消失、（重金属；土壤吸着）
- 都市の特徴；水路網
混合域の拡大、浄化機能up



課題

- **脱窒域の同定とその速度**
 - 地下水流出量の決定
 - 混合過程の決定
 - 脱窒速度の定量
- **高潮などのイベントの影響→時間軸？**
- **都市の評価**
 - 負荷量
 - 有機物、重金属汚染の影響→時間軸？
 - 水路網の評価
 - 下水道完備の影響の評価