

地球研谷口P「都市の地下環境に残る人間活動の
影響」全体会議

物質グループレビュー

小野寺真一(広島大・総合科学部)



- + 問題設定・仮説
- + 研究レビュー
- + 研究課題
- + メンバー

背景 ; アジアの都市の特徴 (Jiang et al.2001)

Table 2

Distribution of cities with more than one million residents in coastal and non-coastal areas, 1995^a

	Number of cities					
	1 million to 10 million residents			More than 10 million residents		
	Coastal	Non-coastal	% of coastal city	Coastal	Non-coastal	% of coastal city
World	108	159	40	6	2	75
Asia	59	88	40	5	1	83
Africa	13	14	48	0	0	—
America	19	22	55	1	1	50
Europe	12	35		0	0	
Oceania	5	0	100	0	0	
Contribution of Asia to world	55%	55%		83%	50%	

^aSource: [2].

- アジアの大都市(1000万人); 沿岸に多い

アジア諸都市の人口増加率 (Jiang et al., 2001)

Table 4

Population growth of megacities in 1995 in Asia and the East Asian Seas (EAS) region^a

Megacity	Population ($\times 10^3$)			Times		
	1950	1995	2015	1950–1995 (45 yr)	1995–2015 (20 yr)	
Bangladesh	Dhaka	420	8545	19,486	20.3	2.3
China	Beijing	3913	11,299	15,572	2.9	1.4
	Shanghai ^b	5333	13,584	17,969	2.6	1.3
	Tianjin ^b	2374	9415	13,530	4.0	1.4
India	Bombay ^b	2901	15,138	26,218	5.2	1.7
	Calcutta	4446	11,923	17,305	2.7	1.5
Indonesia	Jakarta ^b	1452	8621	13,923	6.0	1.6
Japan	Tokyo ^b	6920	26,959	28,887	3.9	1.1
	Osaka ^b	4147	10,609	10,609	2.6	0
Korea, Rep	Seoul	1021	11,609	12,980	11.4	1.1
Pakistan	Karachi	1028	9733	19,377	9.5	2.0
Philippines	Manila ^b	1544	9286	14,657	6.0	1.6

^aSource: [3].

^bCoastal city.

下水処理状況

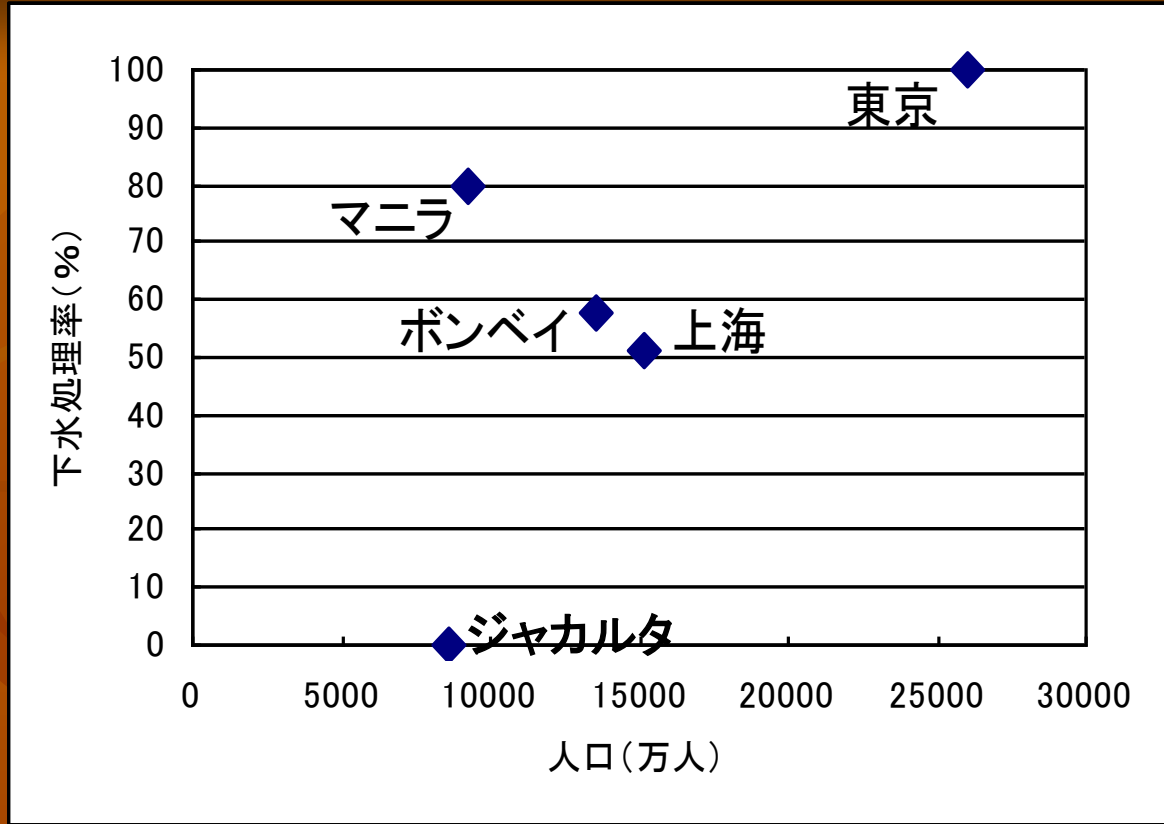


Table 6

Percentage of urban households connected to sewerage and treated domestic wastewater in Asian coastal megacities^a

Megacity	% of urban household connected to sewerage	% of treated domestic wastewater
Shanghai	58	58
Bombay	51	10
Jakarta	0	16
Manila	80	No data

^aSource: [3] (data for 1993).

海洋への負荷量 (Jiang et al., 2001)

Table 9
Generation of BOD, N and P by participating South China Sea countries [7]

Country ^a	South China Sea Population ^b (% national) ($\times 10^3$ persons)	Population in cities ($\times 10^3$ persons) (% of South China Sea population)	Pop. growth rate (%) ^c	BOD generated (10^3 ton/yr) ^d	BOD removed by sewage treatment ^e (10^3 ton/yr)	Total N (ton/yr)	Total P (ton/yr)
Cambodia	1985 (18%)	1775 (89%)	2.7	36.2	No treatment	361.35	102.20
China	59,694 (5%)	21,031 (35%)	1.6	1089.4	<10%	8716	10,108
Indonesia	105,217 (50%)	> 50,161 (48%)	2.9	1920.2	364	Inorganic $591,518 \times 10^3$	Inorganic
Malaysia	10,336 (51%)	1527 (15%)	3.3	188.6	53		
Philippines	23,633 (31%)	6342 (27%)	2.1	431.3	149		
Thailand	37,142 (62%)	0	1.4	677.8	89	> 3037	> 585
Viet Nam	75,124 (100%)	2144 (3%)	1.6	1371.0	No treatment	21,987	2680
Total	313,131 (19%)	> 82,980 (>27%)	1.4	5714.5	655 (11%)		
2005	359,837			6567.0	722 (1995 level of treatment)		

^aOnly populations of subdivisions interacting with the South China Sea were included and were recalculated to 1996 using the growth rates in the third column.

^bTotal population of all South China Sea subdivisions in a country were obtained.

^cAverage population growth rate for all South China Sea subdivisions in a country was obtained using a weighted mean method.

^dEstimated BOD production using 0.05 kg/d [10].

^e[11].

大氣污染狀況 (Jiang et al.2001)

Table 13

Air pollution: comparison between developing countries of Asia and developed countries^a

	Population (million)	Mean annual TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mean annual SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mean annual NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
<i>Megacity in Asia (developing country)</i>				
Beijing	11.30	377 ^b (1995)	90 ^c (1995)	122 ^b (1995)
Tianjin	9.42	306 ^b (1995)	82 ^c (1995)	50 (1995)
Shanghai	13.58	246 ^b (1995)	53 ^c (1995)	73 ^c (1995)
Bombay	15.14	240 ^b (1994)	33 (1994)	39 (1994)
Jakarta	8.62	271 ^b (1990)	No data	No data
Manila	9.29	200 ^b (1995)	33 (1993)	No data
<i>Megacity in developed country</i>				
Osaka	10.61	43 (1993)	19 (1994)	63 ^c (1994)
Tokyo	26.96	49 (1993)	18 (1995)	68 ^c (1995)
Paris	9.52	14 (1994)	14 (1994)	57 ^c (1994)
New York	16.33	No data	26 (1995)	79 ^c (1995)
Los Angeles	12.41	No data	9 (1995)	73 ^c (1995)

^aSource: [3].

^bLevel is more than double WHO guidelines.

^cLevel exceeds WHO guidelines.

都市化と物質移動

1. 都市化(初期)にともなって富栄養化が進行した!

— 負荷(物質)過程(都市化にともなう);
排水河川、地下水の影響

→ 地下水中の反応速度考慮(ガス濃度)して復元

1. 都市化(後期)にともない地下水への窒素供給量が変化

— 家庭排水 → 大気汚染物質

$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2$

→ 不飽和帯; 同位体比、陽イオン

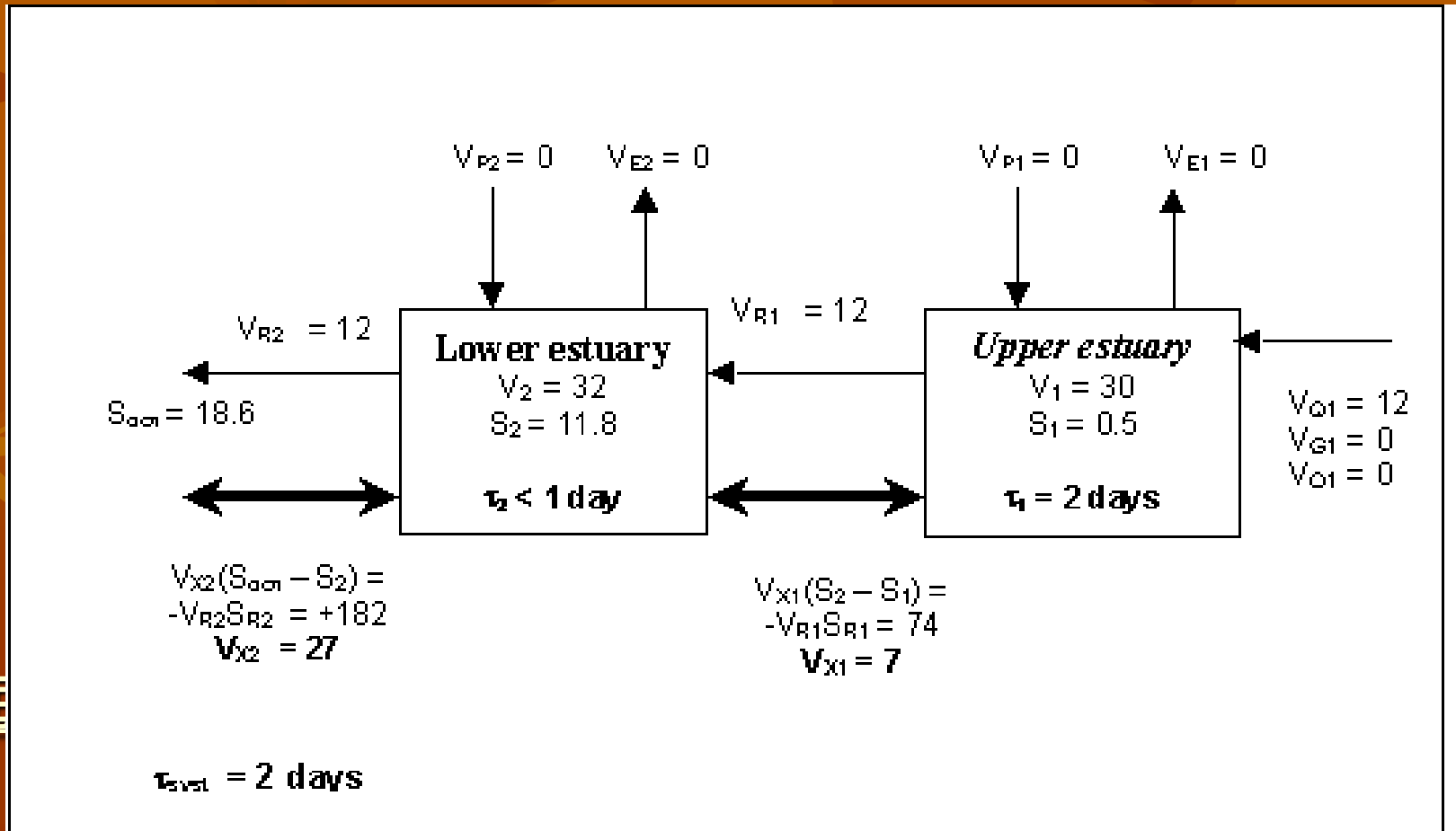
都市化と物質移動

1. 都市化にともなう輸送手段の変遷に応じて 大気汚染物質が変化した！？

→ 土壌・堆積物中の陽イオン成分

→ 同位体年代

都市化にともない窒素負荷量は増加し、富栄養化に寄与したのか。



@海

最近100年を中心に議論

1) 地下水の水質指標

環境復元に向けて;

①時間軸は;

滞留時間トレーサー

トリチウム(水素の放射性同位体)

フロン濃度

②汚染環境の指標をどのように入れるか?

窒素濃度、N同位体、N-Ar、C同位体

地下水中の反応

- 還元環境下（流出域、深層）
 - $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$ （脱窒）
 - 脱窒すれば溶存 N_2 が増加する。
 - NO_3^- 濃度に依存
 - N_2 で過去の NO_3^- 濃度を評価可能

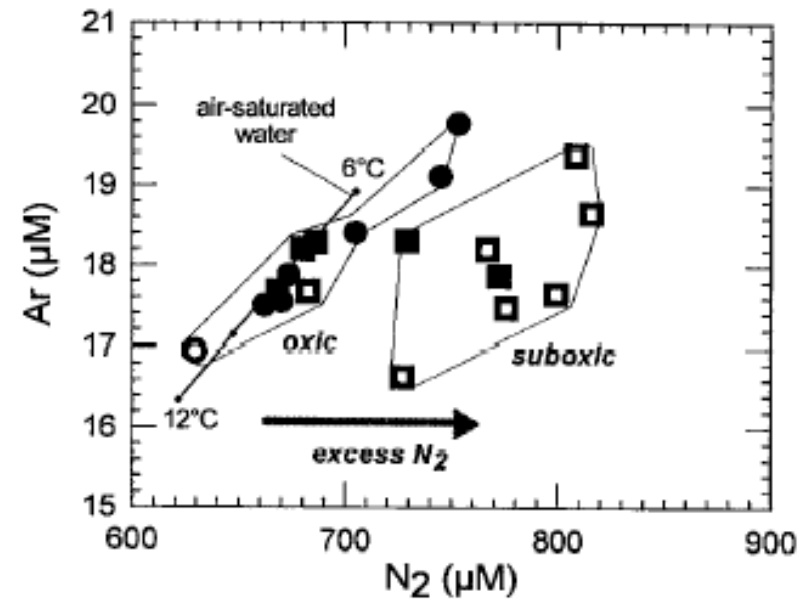


Figure 10. Concentrations of dissolved argon (Ar) and nitrogen (N_2). Keys to symbols appear in Figures 1 and 7. Data for oxic waters are consistent with atmospheric equilibration at $9^\circ \pm 3^\circ\text{C}$ [Klotts and Benson, 1963b]. Data for suboxic waters indicate the presence of additional excess (nonatmospheric) N_2 generated by microbial reduction of NO_3^- (denitrification). The concentrations of excess N_2 in the suboxic waters range up to about $135 \mu\text{M}$, equivalent to $270 \mu\text{M}$ reduced NO_3^- .

Bolke & Denver (1995)

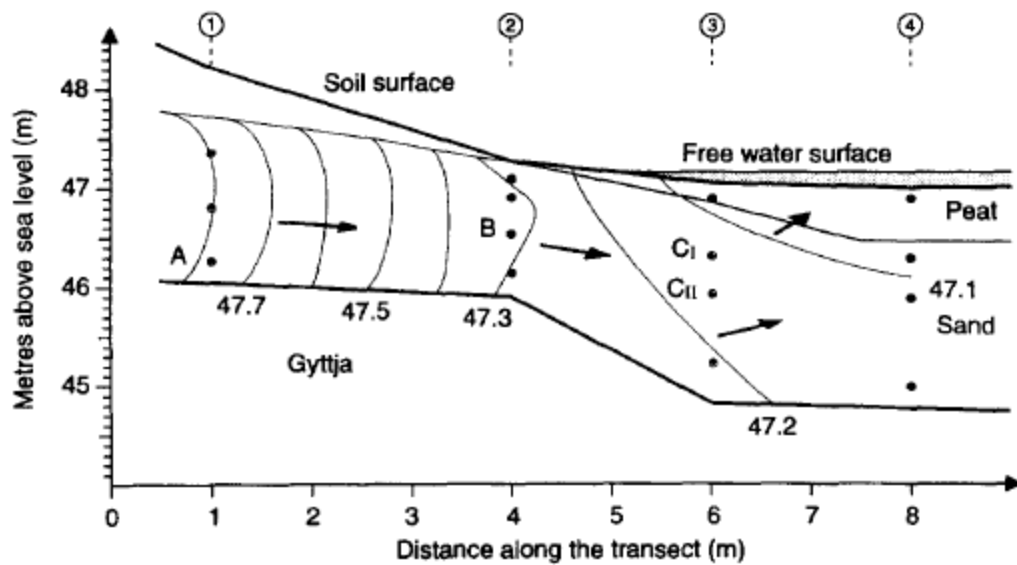


Fig. 1. Hydraulic potentials as equipotential curves in metres above sea level along the riparian transect. Arrows indicate the groundwater flow pattern, \odot symbols correspond to the depths of piezometers in the piezometer nests. Piezometers A, B, C_I and C_{II} are marked on the figure.

Blicher-Mathiesen et al.
(1998)

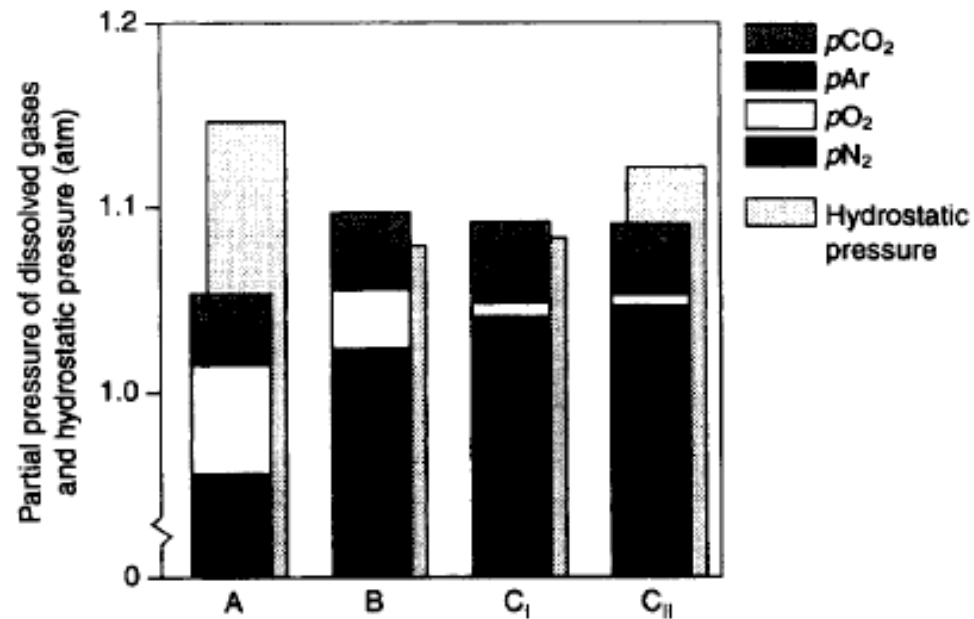
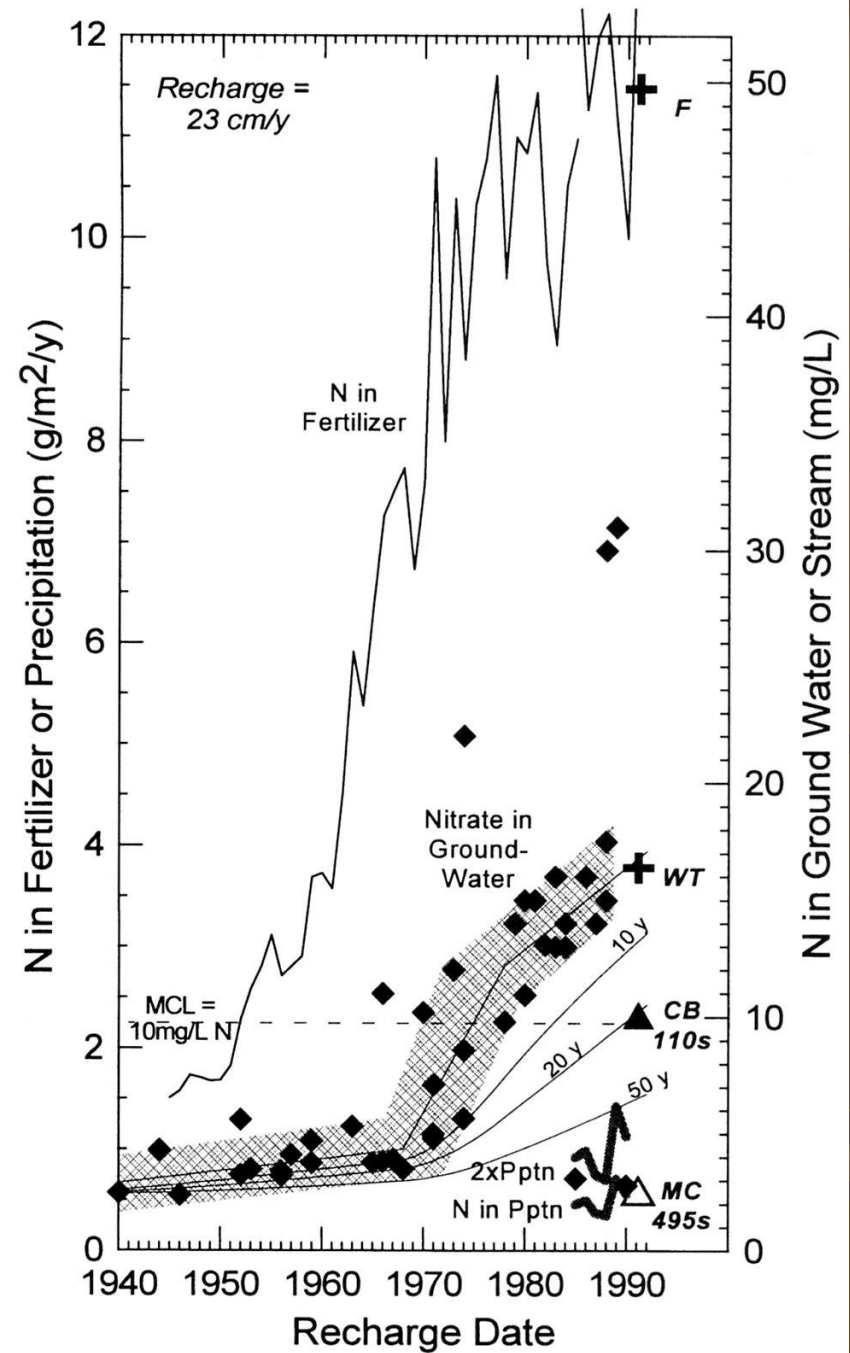


Fig. 2. Partial pressures of dissolved gases and the hydrostatic pressure (atmospheres) in the riparian groundwater transect.

地下水への涵養時期 とN input量の変化

Bolke & Denver(1995)



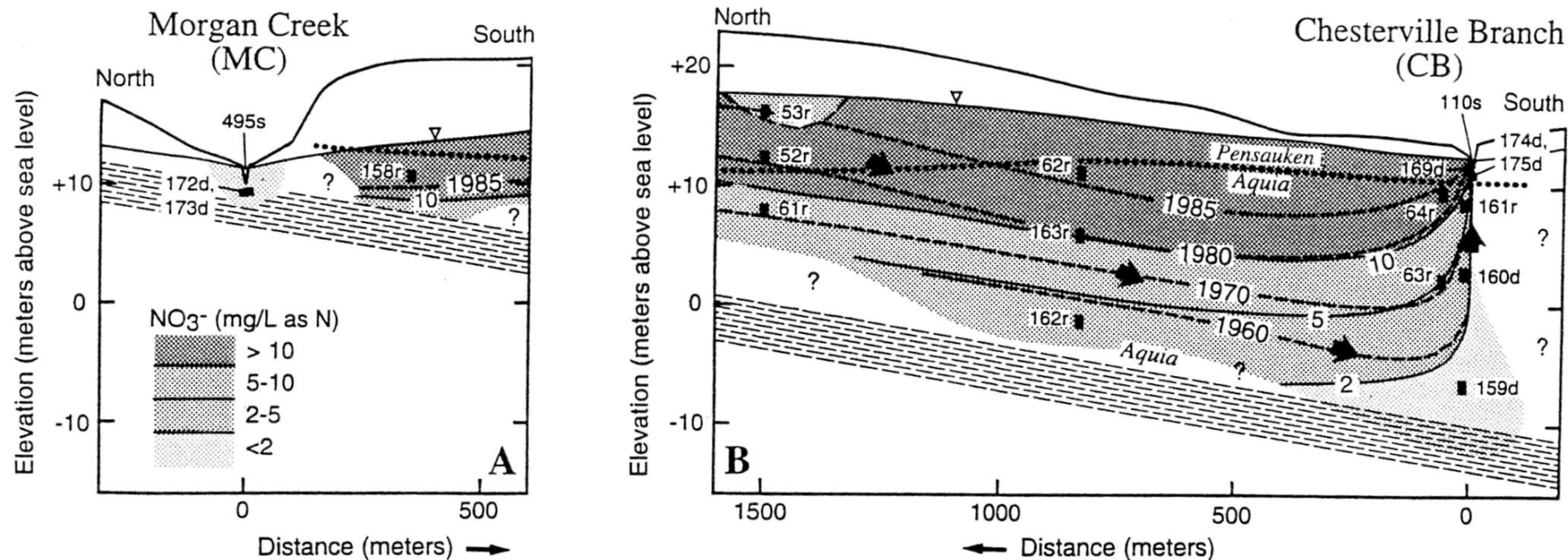
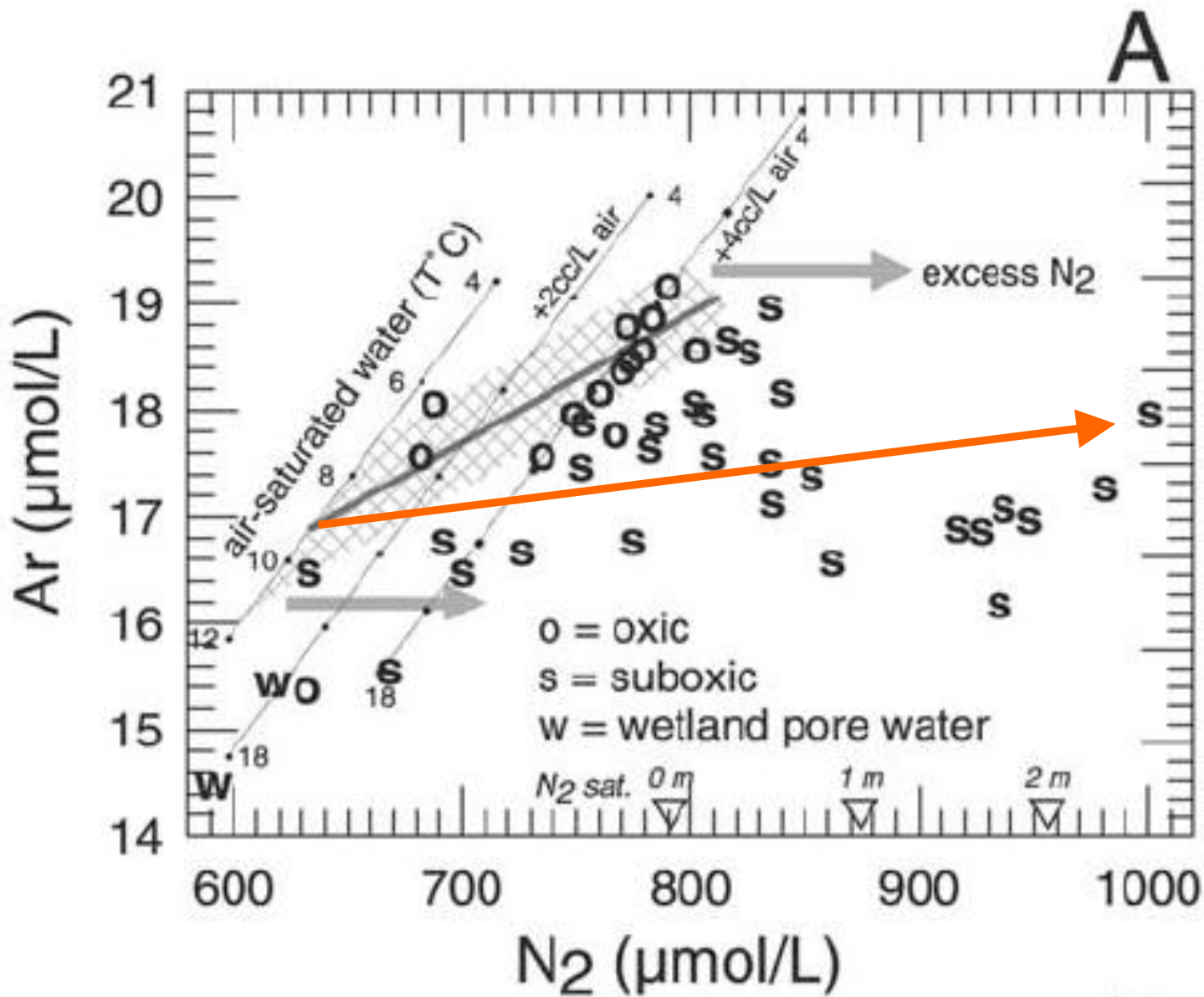


Figure 3. Representative vertical sections adjacent to Chesterville Branch and Morgan Creek (the locations of the sections are shown in Figure 1). Contours are given for CFC model recharge dates and NO_3^- concentrations. Figure 3b is modified from *Dunkle et al.* [1993] with additional data in the discharge area (Tables 1 and 2 of this study); thick arrows indicate approximate groundwater flow directions [see *Reilly et al.*, 1994]; anomalously low NO_3^- at site 53r may be due to road runoff.

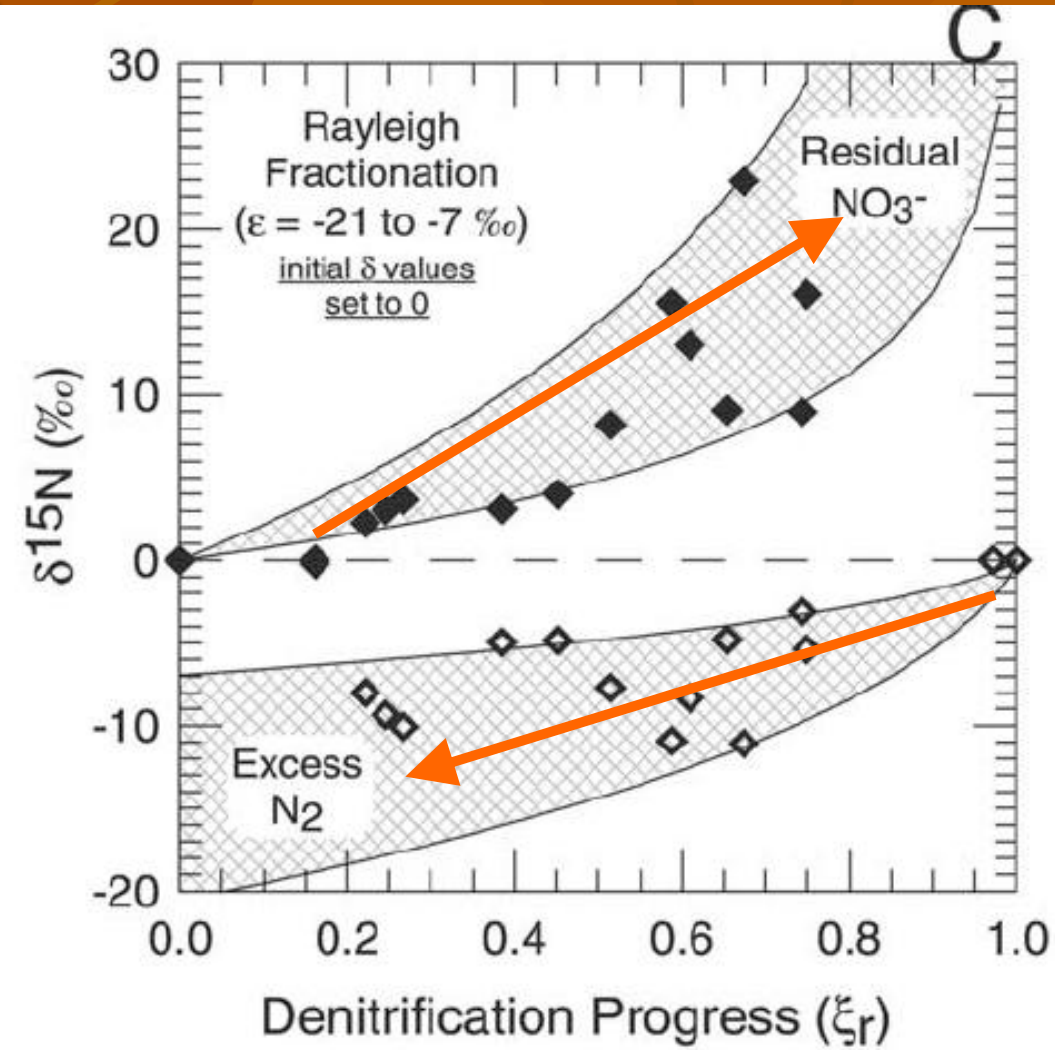


■ N₂ で過去のNO₃⁻ 濃度を評価可能

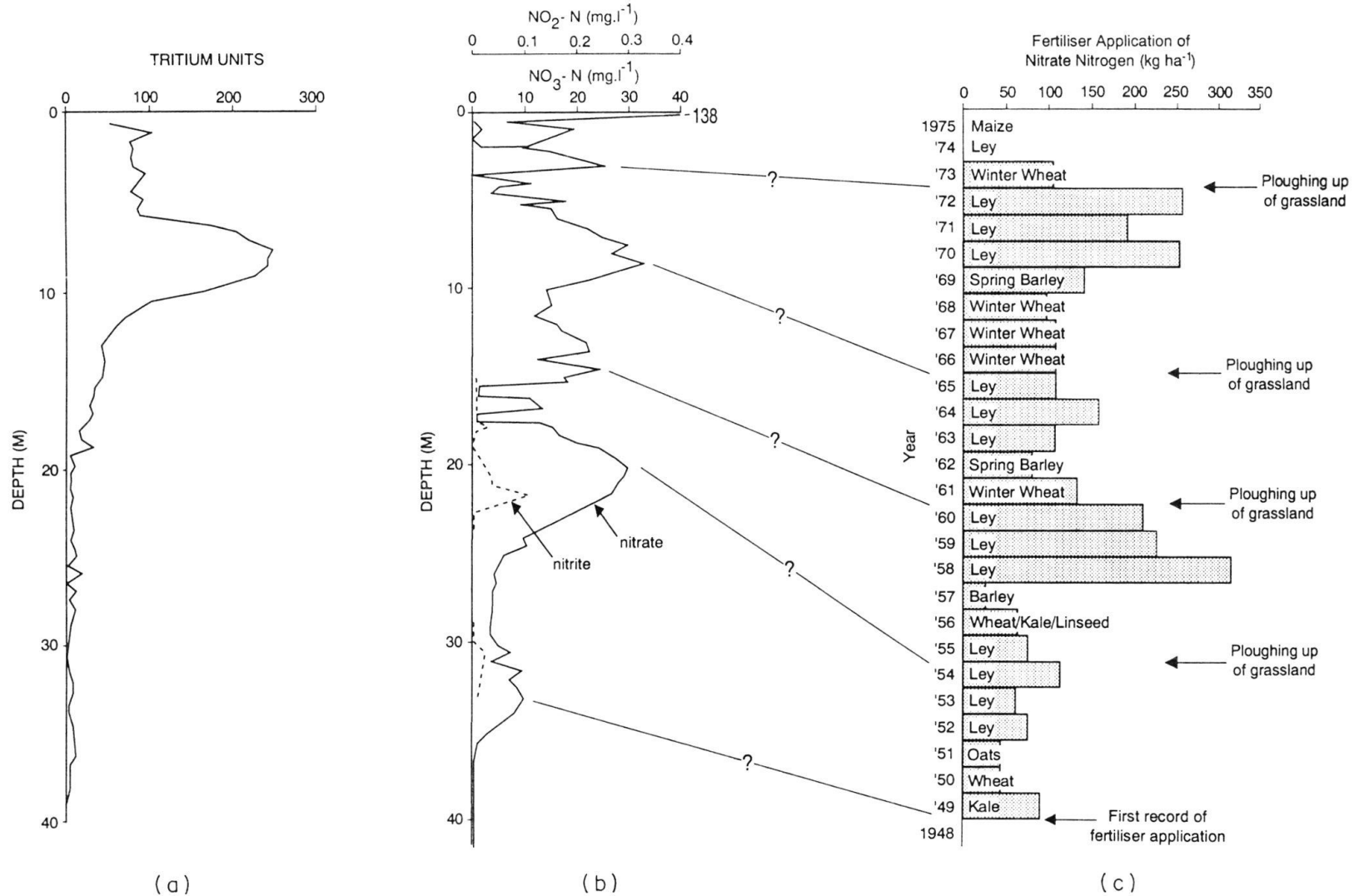
Bolke et al., 2001

N inputの復元

- N同位体比; δN
 - NO_3^-
 - N_2
- 初期N濃度で同位体比が決まる

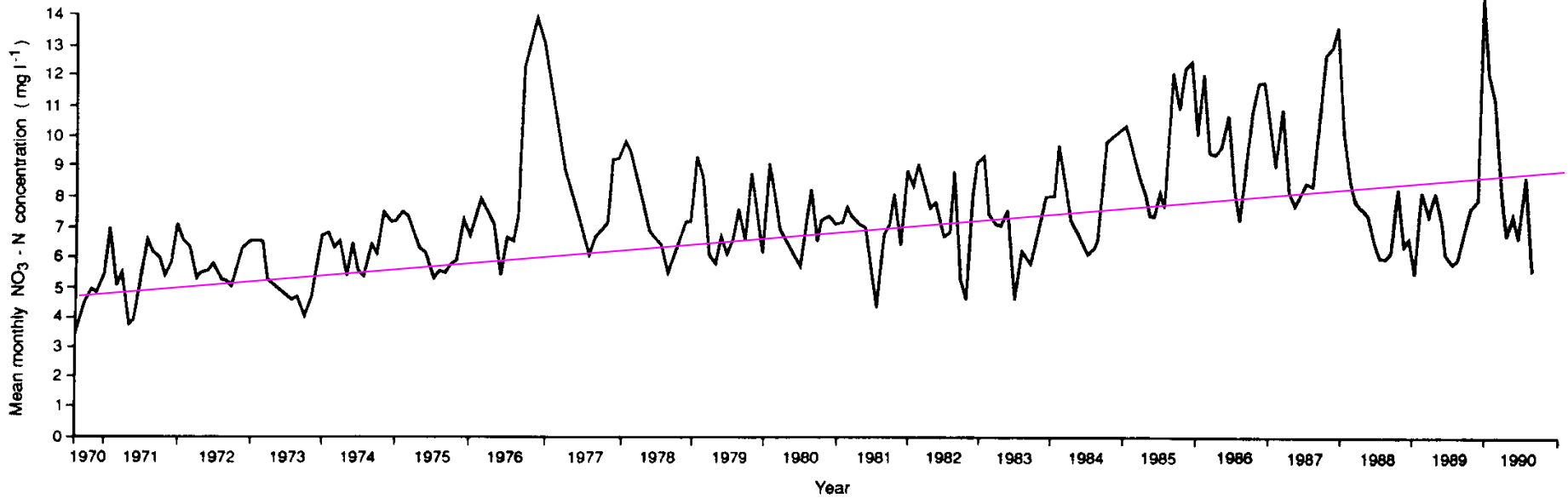


不飽和帯におけるN inputの履歴の復元



(Burt et al. 1993)

長期的養分流出(硝酸性窒素; NO_3^- -N)



イギリス流域河川における硝酸性窒素濃度の長期変化(1970-1990)

硝酸性窒素濃度が上昇傾向

大気汚染・酸性雨によるNの供給により余剰分が流出

不飽和帯の情報(遅れ要素)

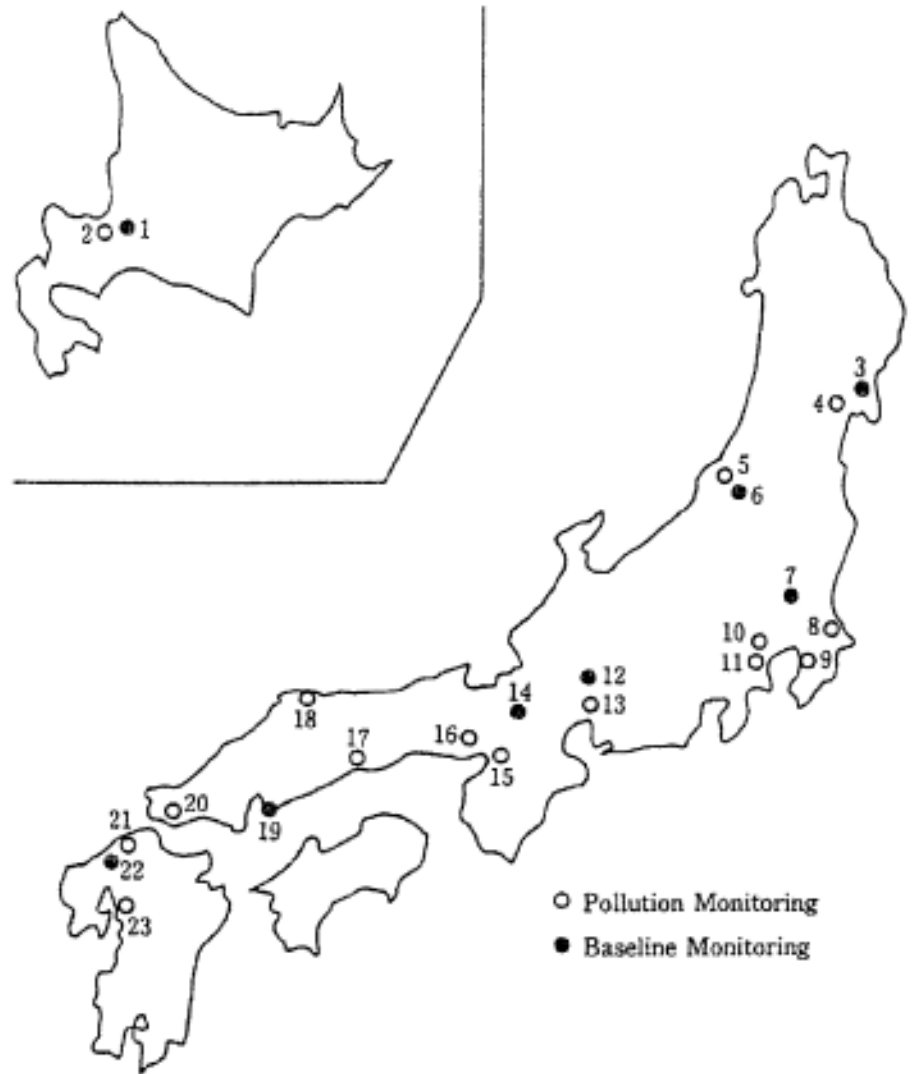
- 都市部緑地や森林地; 涵養域
 - 大気汚染起源物質のインプット量変化を捉えることができる?
 - C,N, S同位体で汚染の環境予測
- 土地利用変化;
 - 涵養量の変化の追跡も可能
 - 物質負荷量変化も追跡可能

都市化にともない大気汚染物質が変化した

- 前のN,C,S の追跡も酸性雨の変化の追跡に有効？！
- 経済成長が停滞した日本の大気汚染は沈静化
- 経済成長中の中国では現在も継続
- Pb、Zn、Mnなど

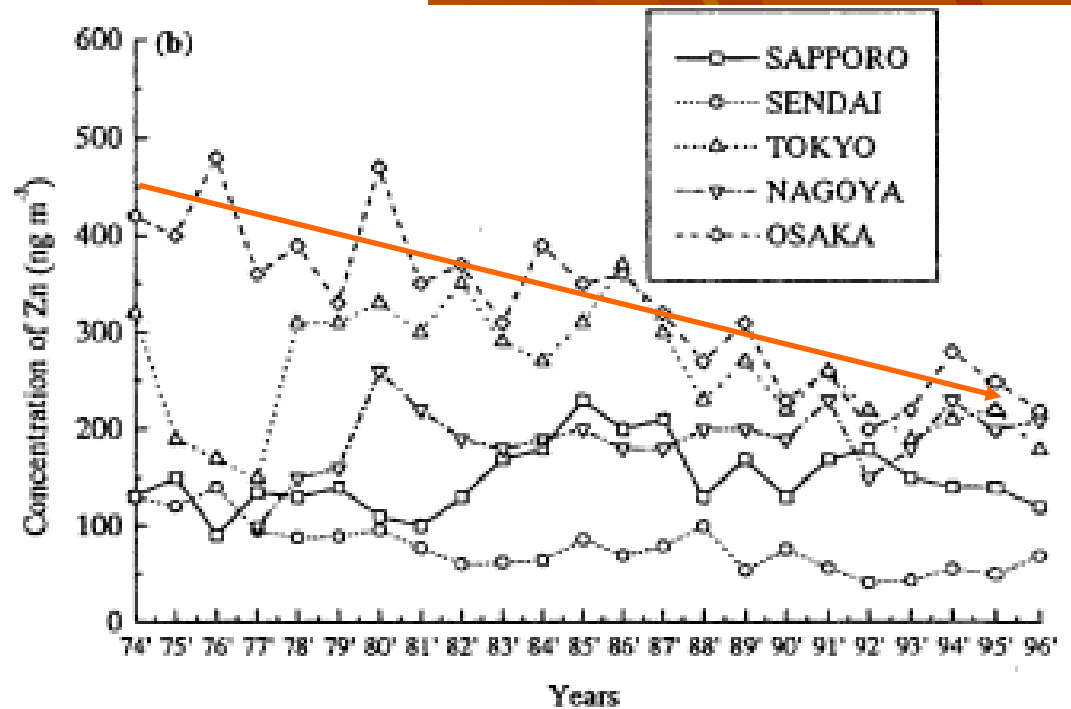
Trace metal 大気汚染物質の モニター地点 日本全国23点 74—96年

Var et al., 2000



1. Noppero
2. Sapporo
3. Nonotake
4. Sendai
5. Niigata
6. Niitsu
7. Tsukuba
8. Kashima
9. Ichihara
10. Tokyo
11. Kawasaki
12. Inuyama
13. Nagoya
14. Kyoto-Hachiman
15. Osaka
16. Amagasaki
17. Kurashiki
18. Matsue
19. Kurahashijima
20. Ube
21. Kita-Kyushu
22. Chikugo-Ogouri
23. Ohmuta

Fig. 1. Map of monitoring station of NASN in Japan.



Pb

Zn

70年代がピーク

2) 大気汚染の土壌・堆積物や植物への痕跡(基本的には吸着;貯留)

環境復元に向けて;

①土壌・堆積物;Pb同位体、イベントトレーサーを用いて時間軸を入れる

→イベントトレーサー;堆積時、
汚染物質負荷(70年代)

②汚染環境の指標をどのように入れる?
重金属、などの陽イオン交換反応

森林流域における

Pbの動態

(北米東海岸)

70年代ピーク

Driscole et al., 1994

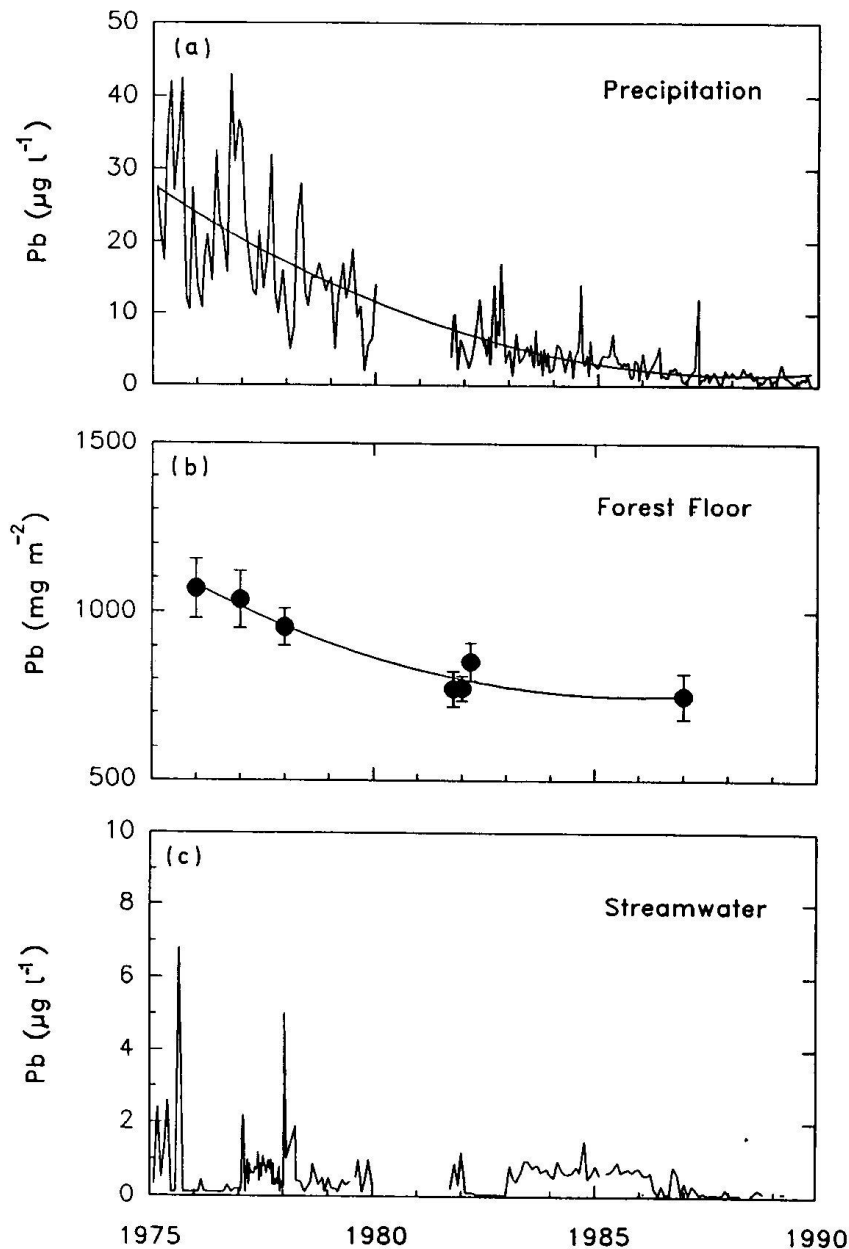


Figure 13.8 Temporal patterns of the concentration of Pb in the biogeochemical reference watershed at the Hubbard Brook Experimental Forest, NH: (a) bulk precipitation; (b) the forest floor; (c) streamwater.

年輪中の組成

70年代ピーク

竹田ら,2000

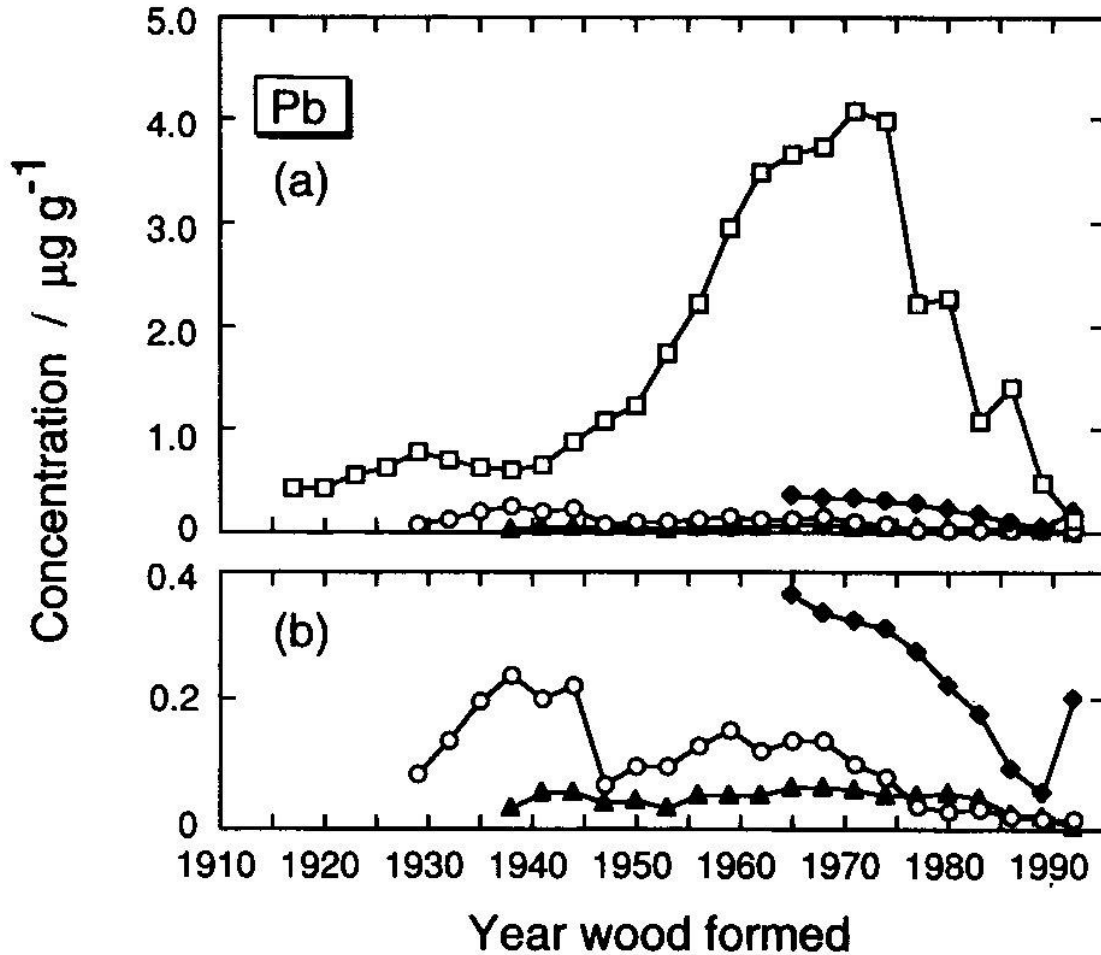
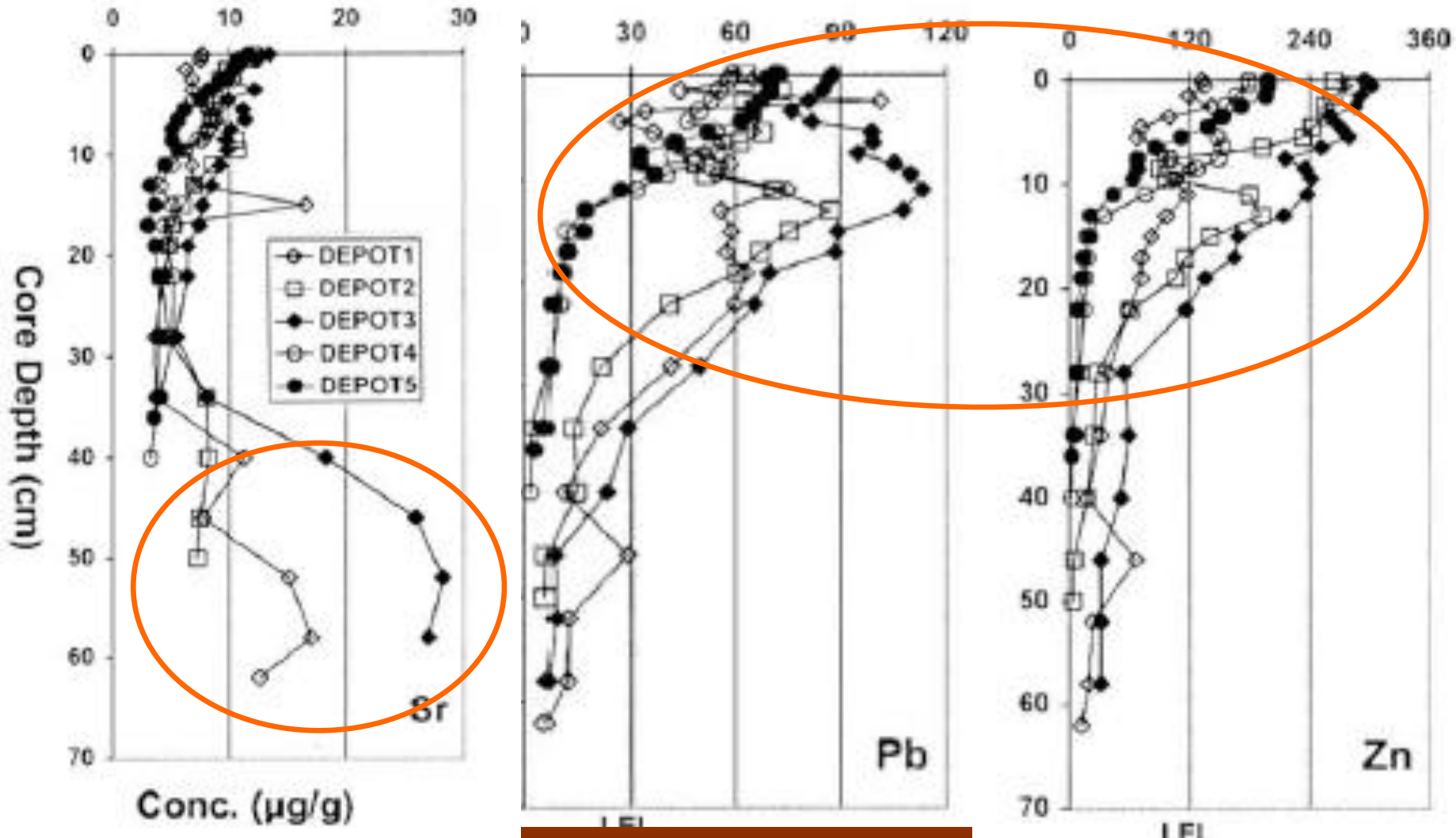
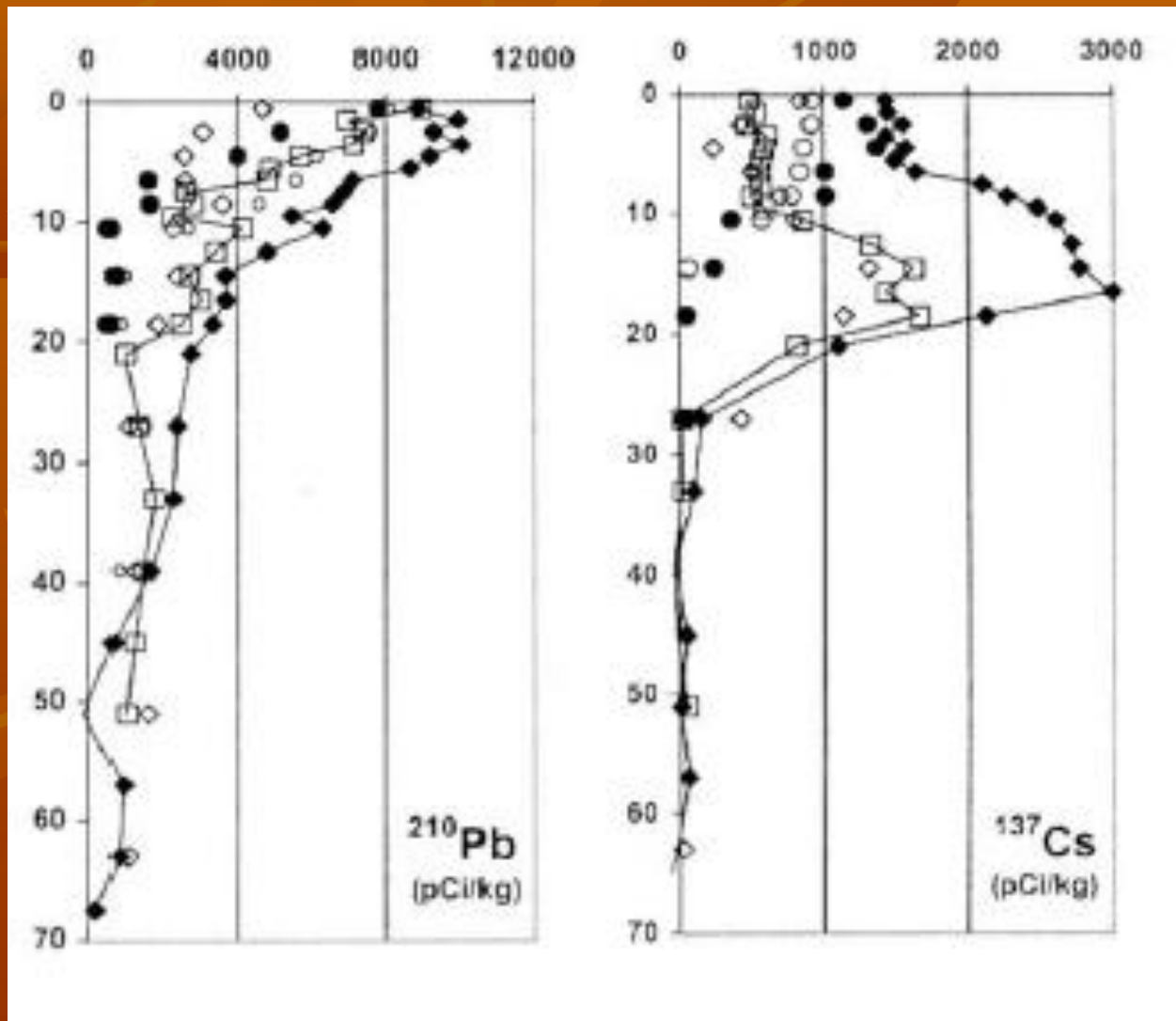


Fig. 3 Concentrations of lead in annual rings of the Red Pine trees collected in T: Takehara (\square), K: Kure (\blacklozenge), F: Fukutomi (\circ) and M: Masuda (\blacktriangle). Lead concentration range, (a) 0–5 $\mu\text{g g}^{-1}$ and (b) 0–0.4 $\mu\text{g g}^{-1}$

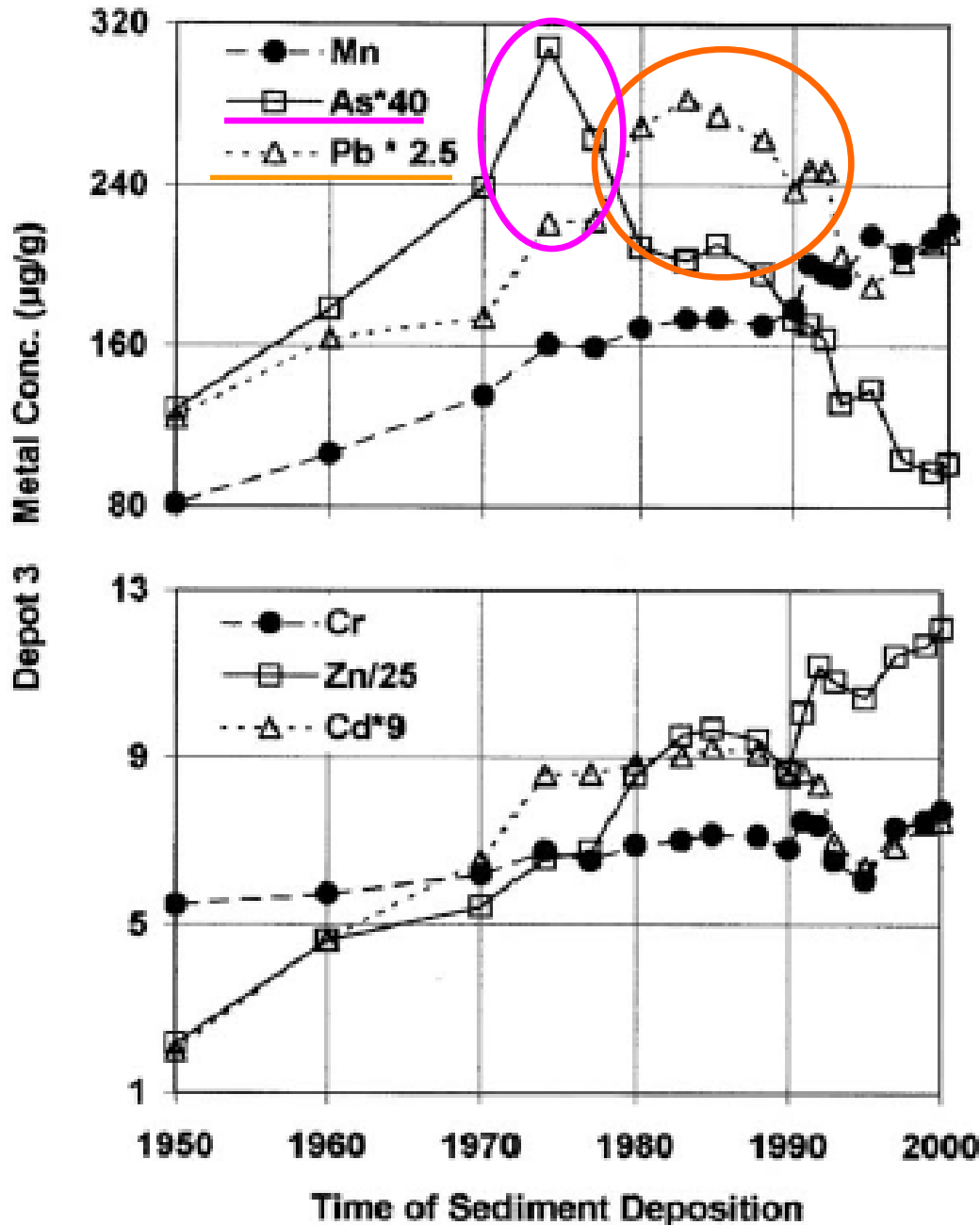
都市に立地する池における堆積物中のTrace Metal(北米ニューヨーク州)



^{210}Pb ^{137}Cs による年代決定



年代測定と汚染物質の堆積状況



- 70年代
 - As
- 80年代
 - Pb (東海岸より遅い)
- 90年代
 - Mn, Zn

ジャカルタ; 沿岸域堆積物中のTrace metal

TABLE 4

Sedimentary metal fluxes ($\mu\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$) to selected stratigraphic levels of sediments at Jakarta Bay station JK1.^a

Depth (cm)	Age (yr)	FDW ^b	Dry weight (g cm^{-3})	Cu flux	Zn flux	Pb flux
0-1	0-2.6	0.375	7.5	1.68	3.51	1.12
5-6	16	0.63	12.6	1.15	4.96	2.59
10-11	29	0.52	10.4	0.58	4.09	1.95
20-21	56	0.74	14.9	0.83	1.40	1.94
30-31	82	0.70	14.1	1.05	1.83	1.57
40-41	109	0.65	13.2	0.79	0.48	0.24

^a Sediment ages are derived from unsupported ²¹⁰Pb data.

^b FDW = sediment fractional dry weight.

Williams et al., 2000 90年代がピーク

Pbの放出(大気中)

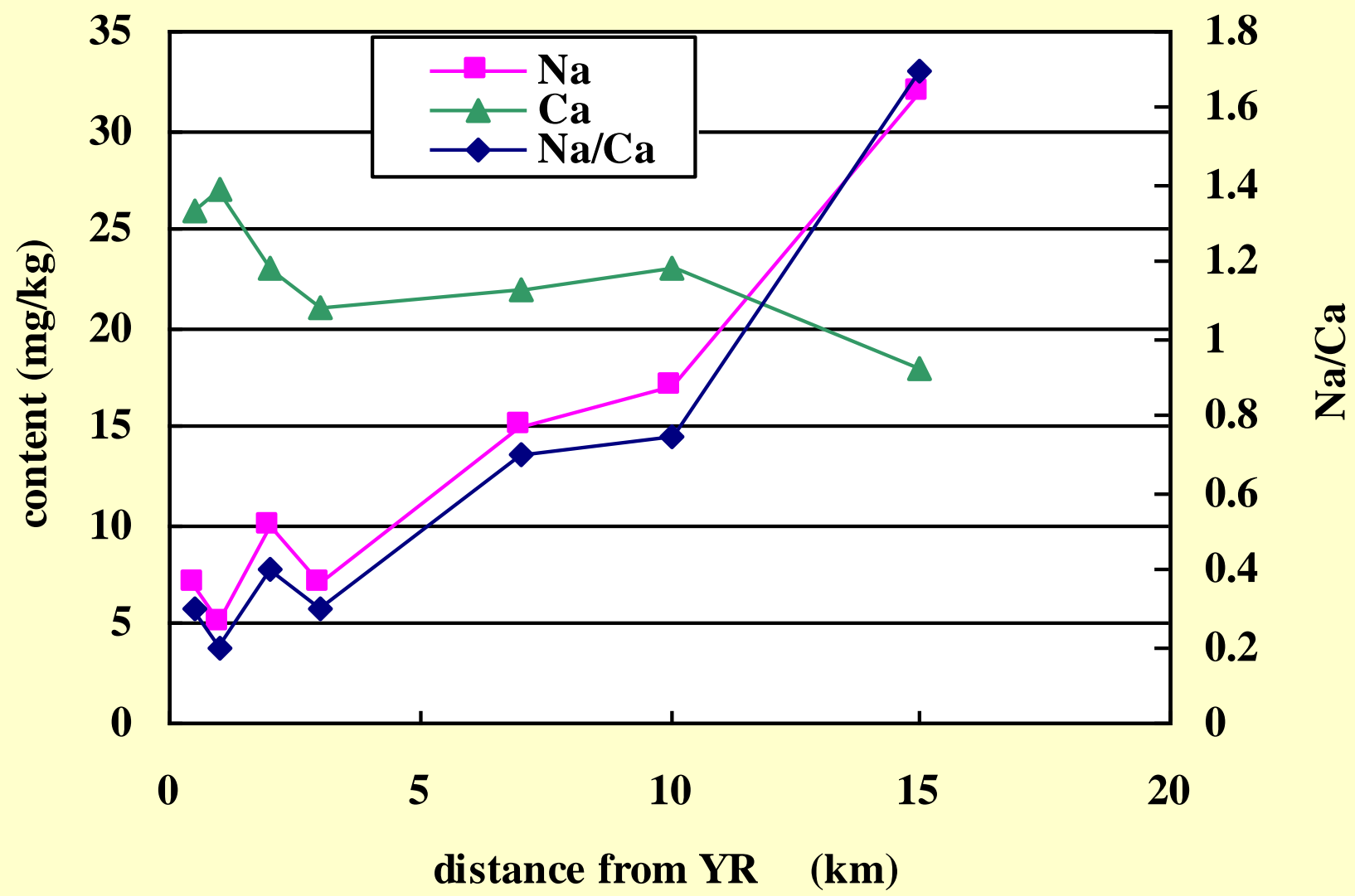
@ピークにずれがある。

- 70年代; 北米東海岸、日本
- 80年代; 北米西海岸
- 90年代; インドネシア

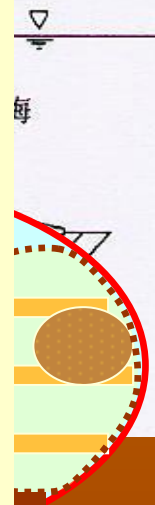
堆積後の環境指標

間隙水・吸着成分の交換

岸线 1980年岸线 1988年岸线



黄



堆積後のイオン交換速度

- 堆積速度
- 地下水流速
- 地下水涵養量、負荷分量
などを推定

まとめ

- 地下水中の化学成分をトレーサーとして数十年の都市環境復元

N, C, S

- 都市急成長時期; 富栄養化に寄与?

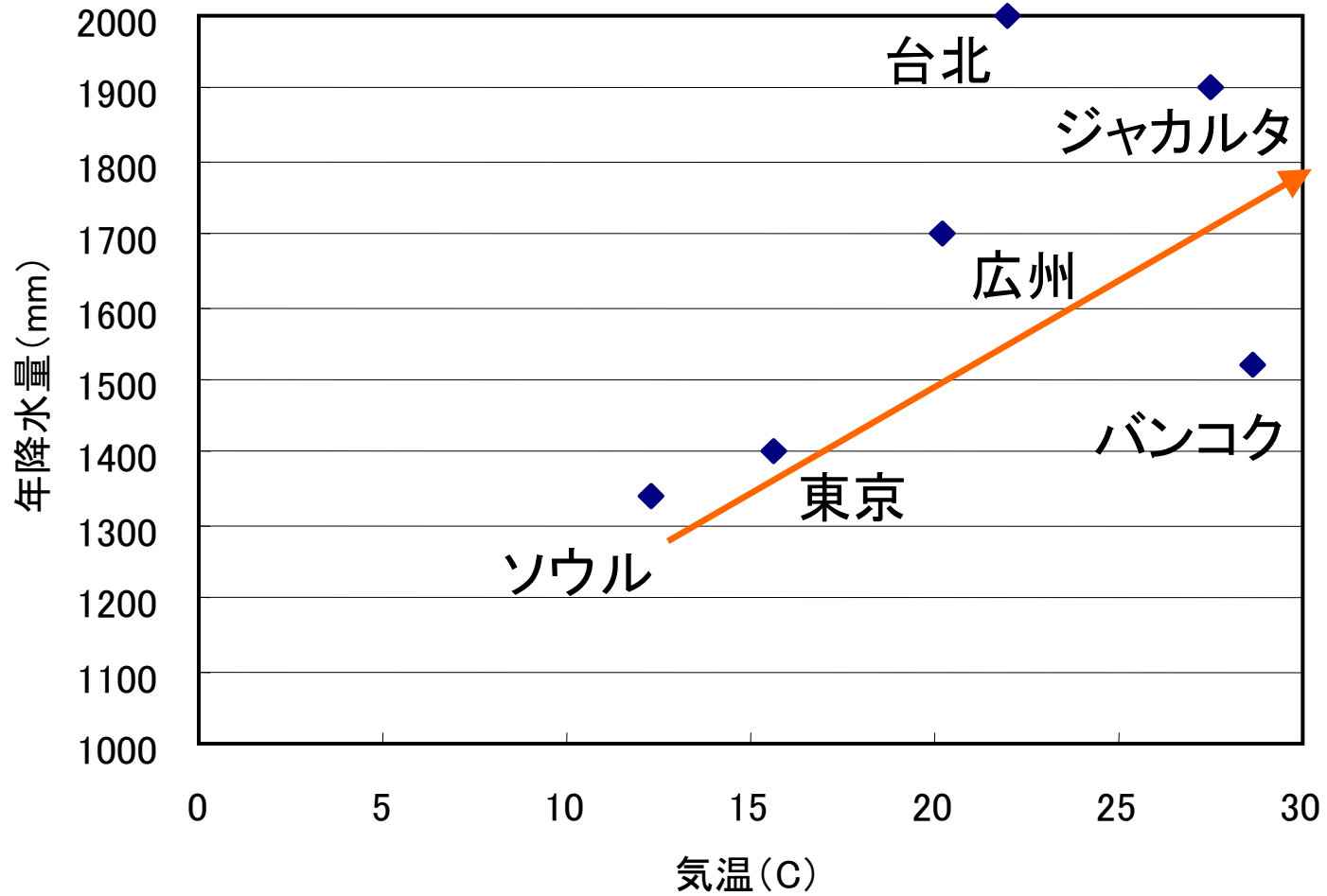
- 土壌、植物、堆積物中の化学成分をトレーサーとして都市環境復元

N, C, S, trace metal

- 都市の成長期に応じて、大気汚染物質や量が変化

対照的な研究地域；

- 大阪(1000年以上の歴史、現在1000万都市)
- バンコク；富栄養化内湾、歴史200年、人口800万)
- ソウル；富栄養化内湾、歴史600年、人口1000万
- その他



アジア各都市の気候特性

今年度の予定・経過

- 研究レビュー；
地下水 & 堆積物
 - 復元のスケール
 - 都市の形成時期と物質負荷過程
- アジア都市での可能性；
 - バンコク；既存データ、一部地下水の採水

メンバー

- 小野寺; 地下水中の窒素をトレーサーとした復元手法の開発(不飽和帯、地下水)
- 竹田一彦(広島大学生物圏科学研究科);
 - 堆積物の堆積速度とその吸着性重金属を利用
 - 大気汚染物質の復元
- 宮岡邦任(三重大学);
 - 地下水流動、滞留時間、物質移動
- 有機塩素系分析に強い人

地下情報によって都市環境の復元が可能である。……

- まだ問題は山積みですが。
LOICZ のdata baseを整理する予定