

# アジア都市の地下熱環境における 都市化の影響

Effect of urbanization on subsurface temperature in Asia cities

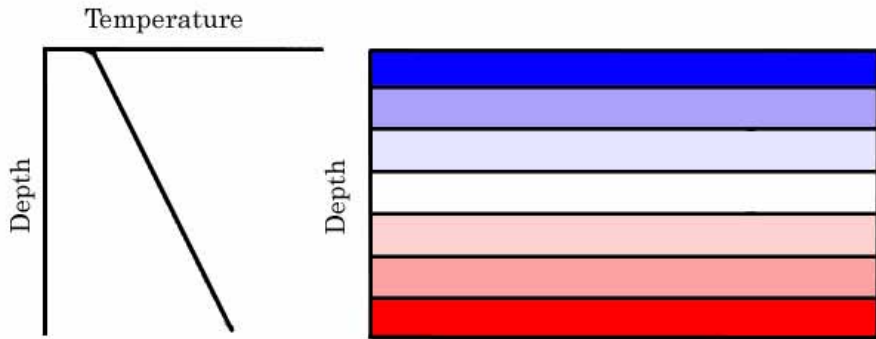
上村剛史<sup>1</sup>・谷口真人<sup>2</sup>・Karen Ann Jago-on<sup>2</sup>

<sup>1</sup>総合研究大学院大学 大学院生

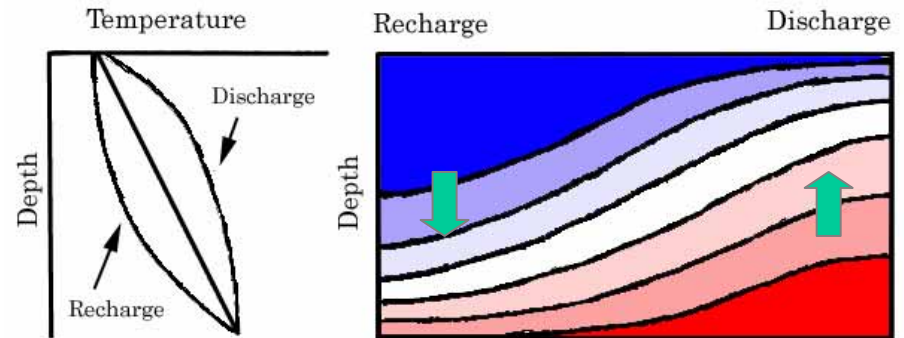
<sup>2</sup>総合地球環境学研究所

# 地下温度環境への影響

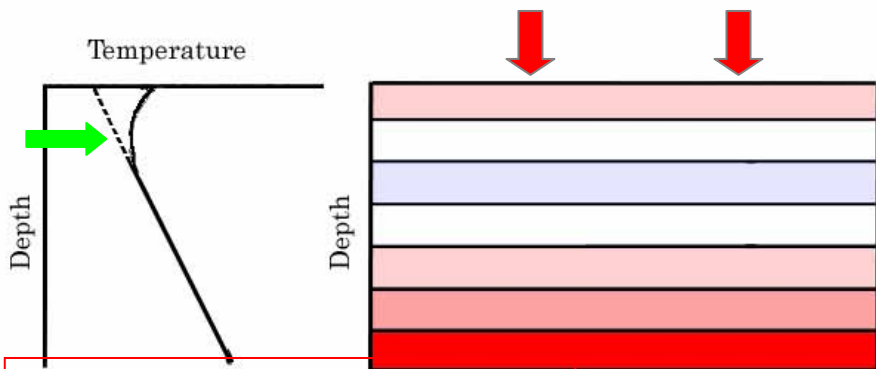
(a) 定常状態



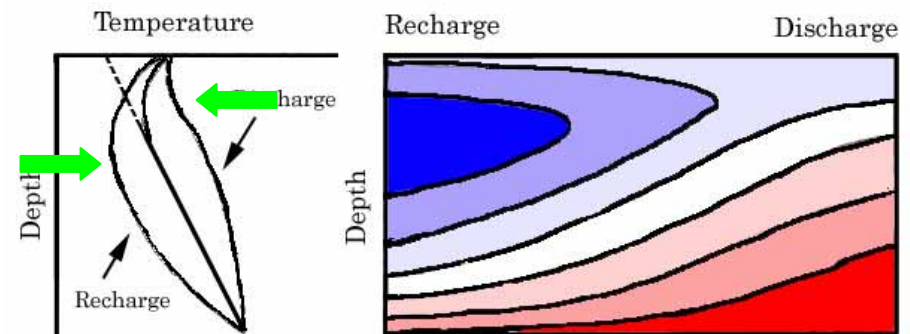
(c) 地下水流動の影響



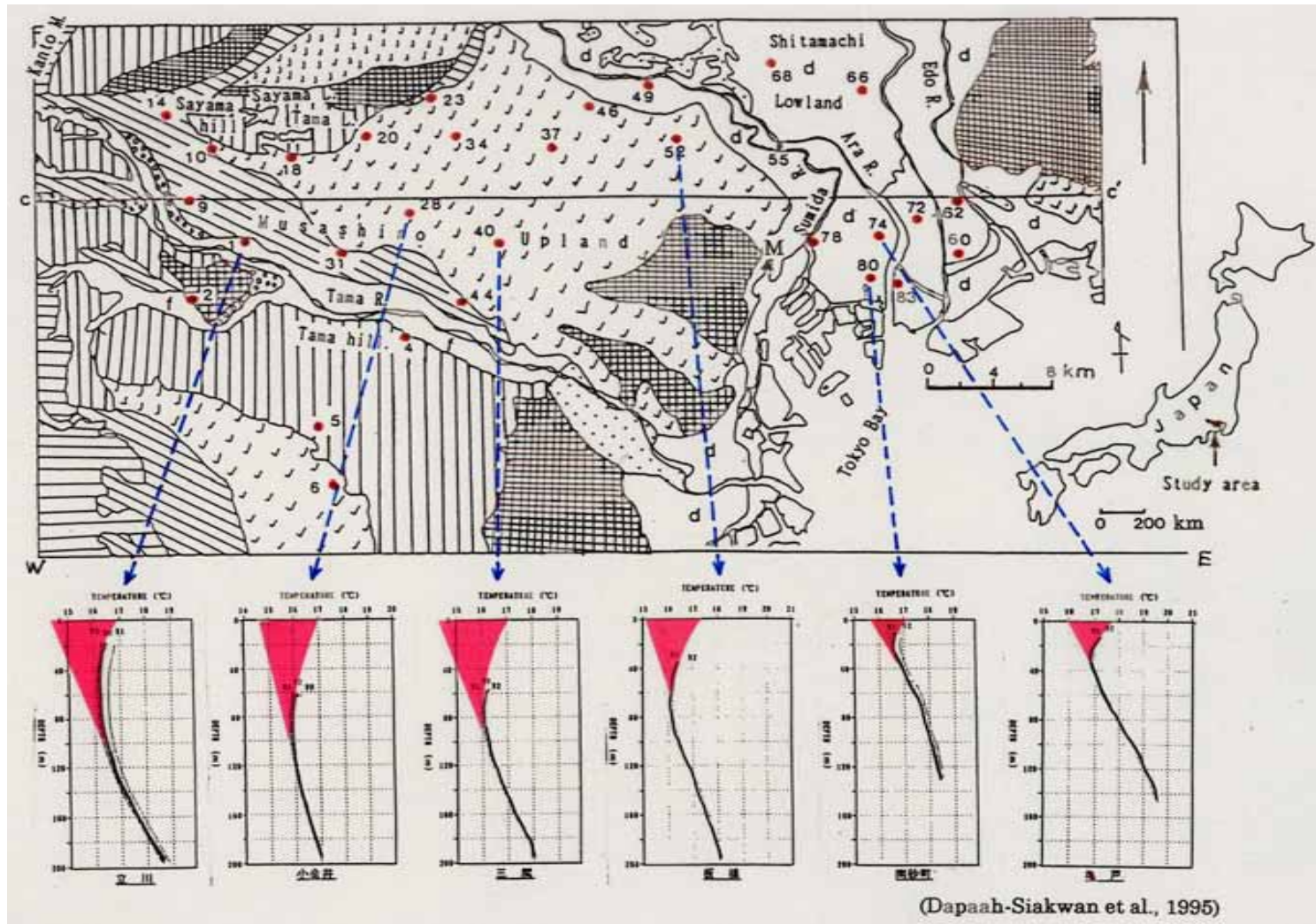
(b) 地表面温度上昇の影響



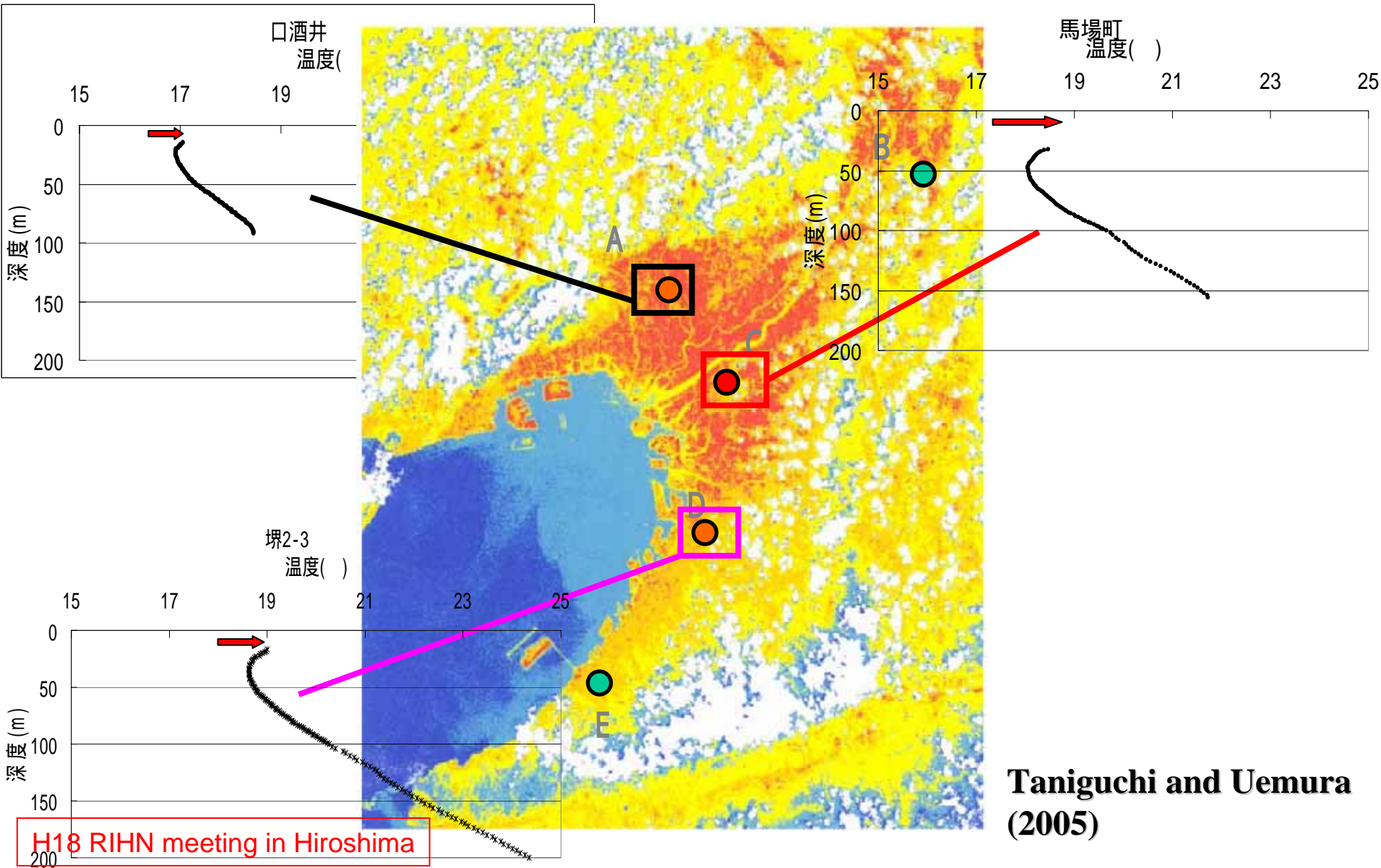
(d) 地表面温度上昇と地下水流動の影響



# 東京の地下温度分布 (Taniguchi et al., 1999)



# 大阪の地下水水温分布



# 研究対象地域 使用データ

## 東京 (Tokyo)

29 boreholes 1992/11~12 126-40m  
(Dapaah-Siakwan & Kayane, 1995)

## 大阪 (Osaka)

37 boreholes 2003/10~11 47-465m  
(Taniguchi & Uemura, 2005)

## ソウル (Souel)

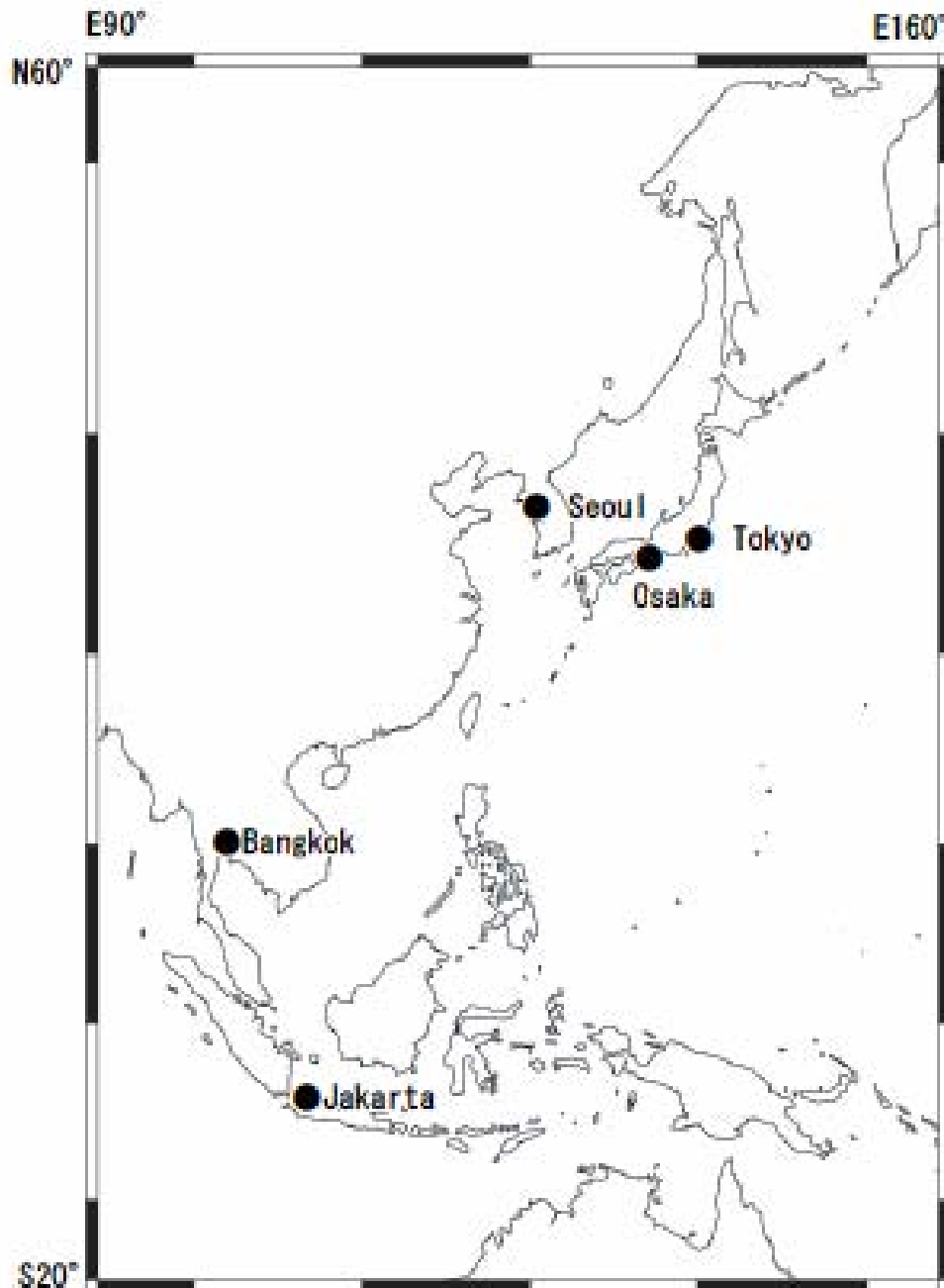
15 boreholes 1997/7~2002/7 498-968m  
(Kim, 2006)

## バンコク (Bangkok)

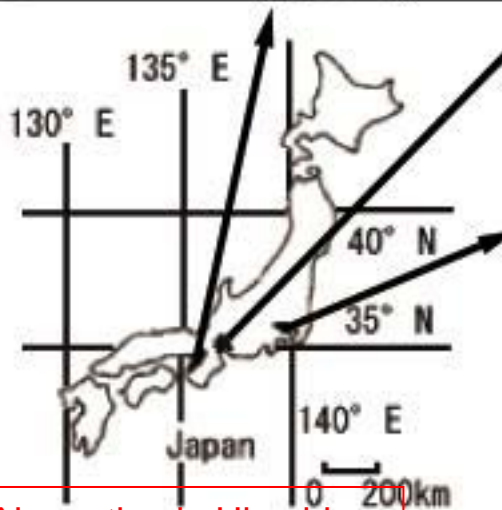
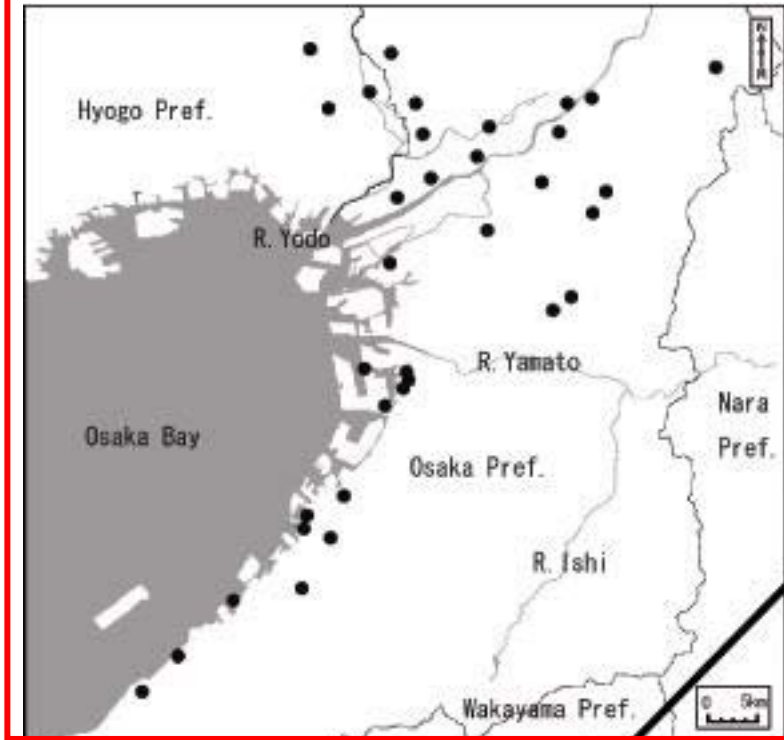
13 boreholes 2006/6 55-437m  
(Taniguchi et al, 2006)

## ジャカルタ (Jakarta)

34 boreholes 2004/7 51-253m  
(Delinom, 2006)



# 大阪: 37 boreholes

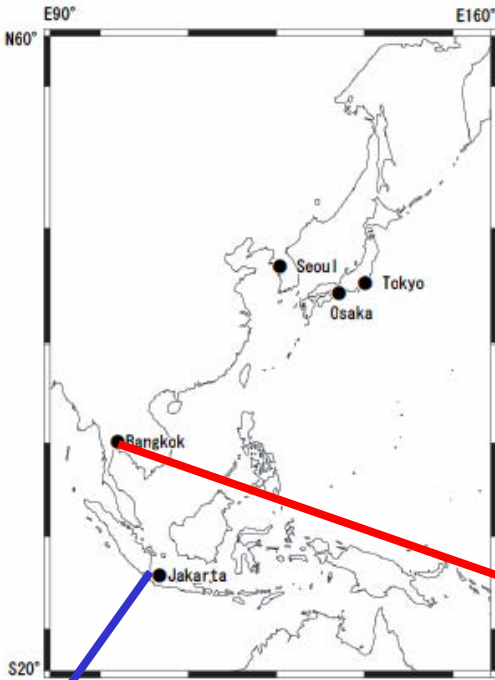


H18 RIHN meeting in Hiroshima

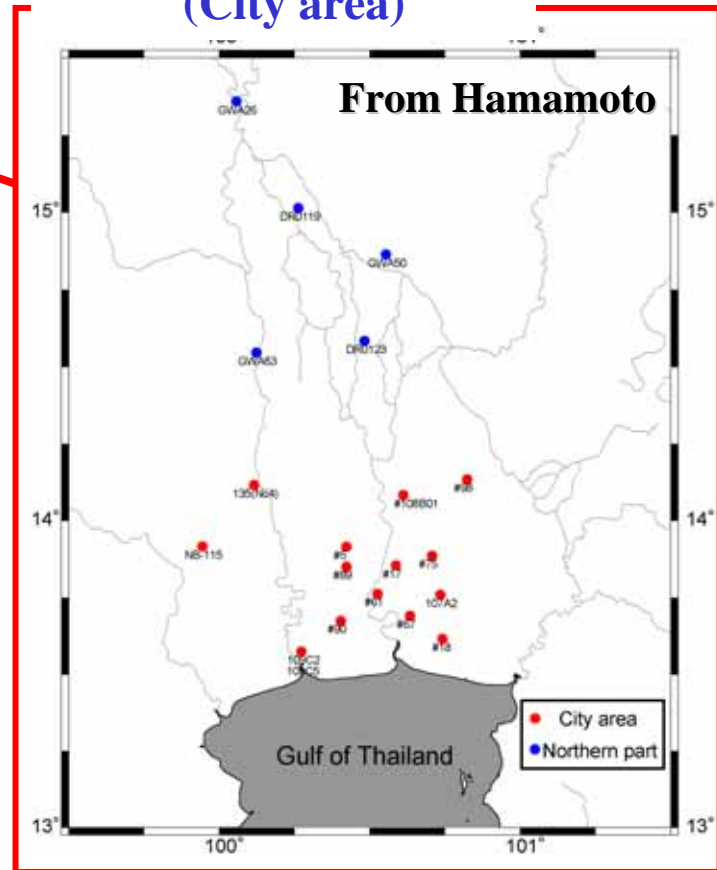
# 東京: 29 boreholes

# データ抽出

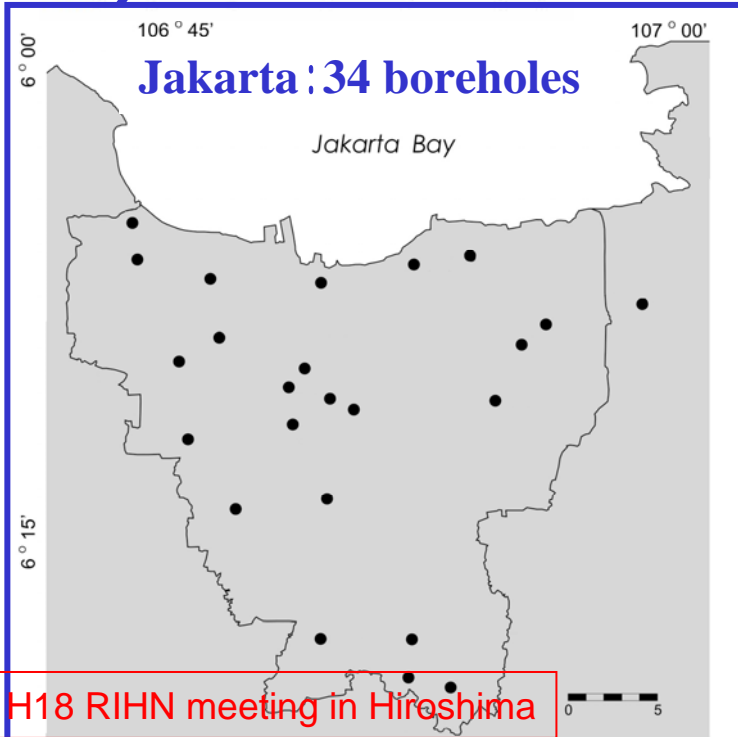
- \* 地域的な偏りがないか？
- \* 局所的な流動や揚水等による影響？



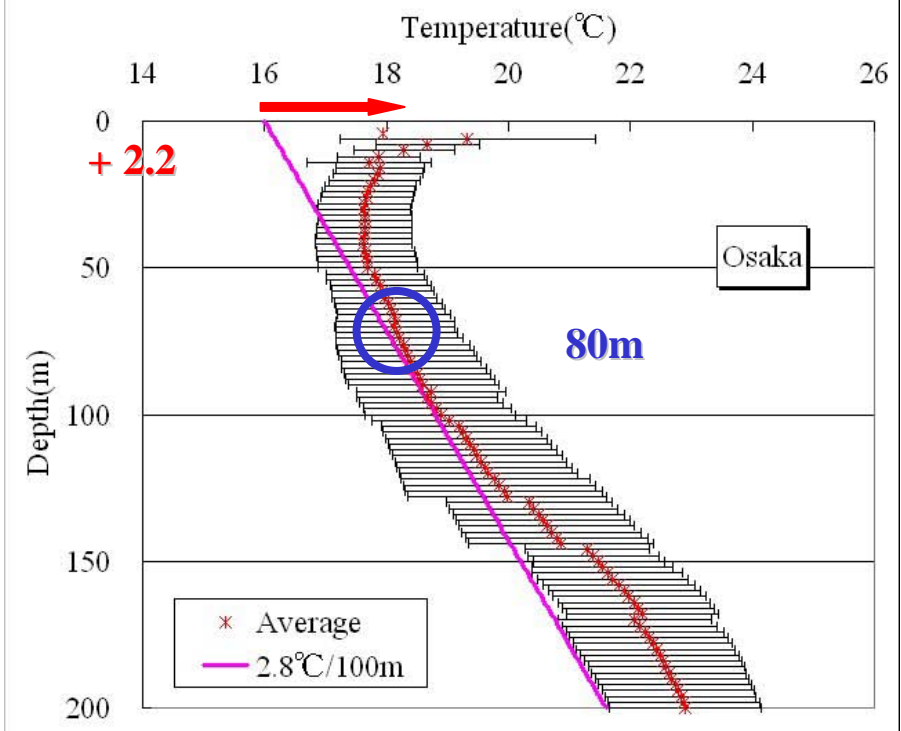
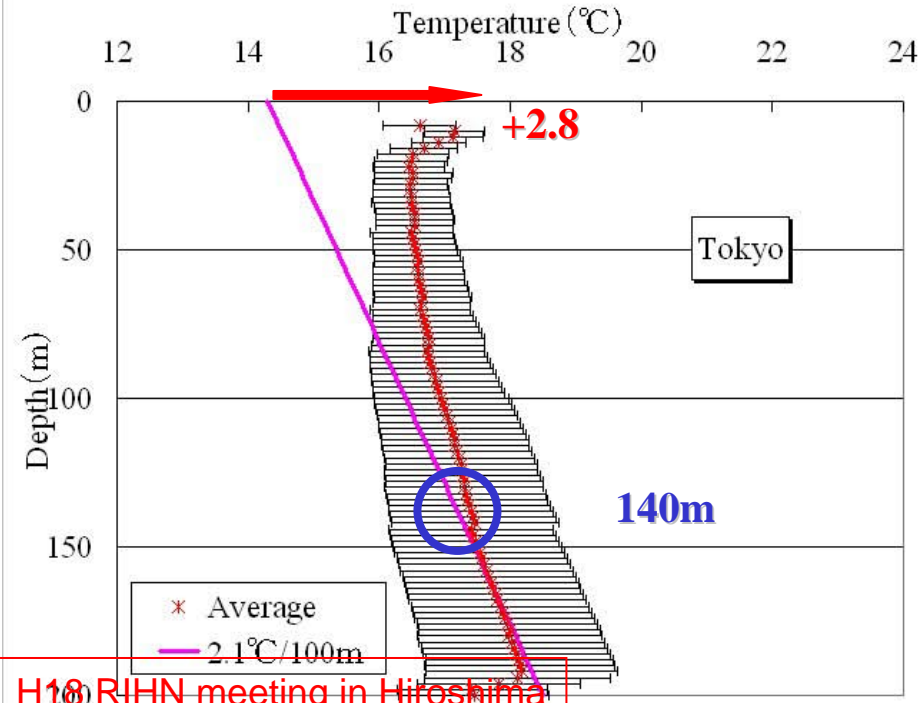
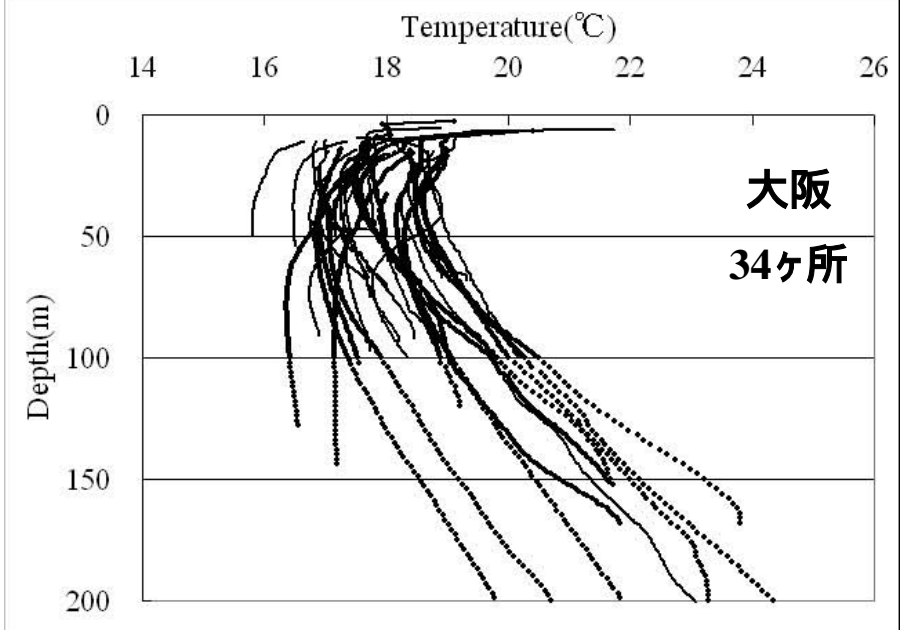
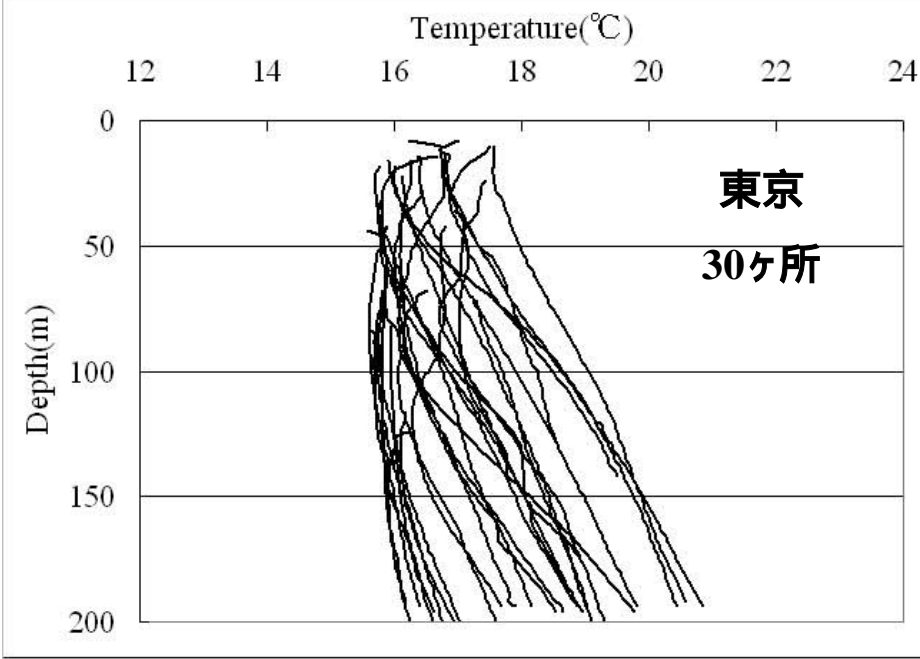
Bangkok : 15 boreholes  
(City area)

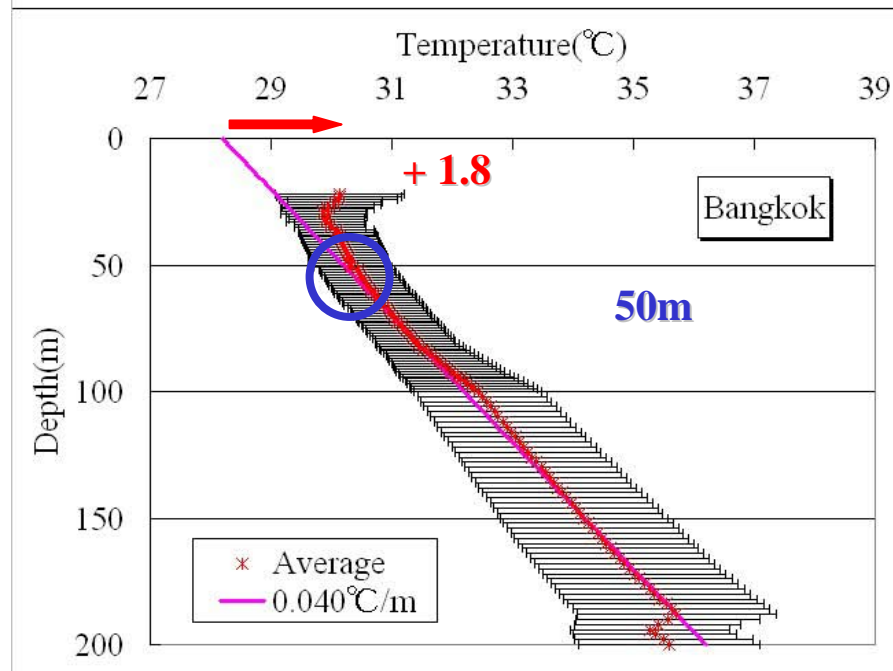
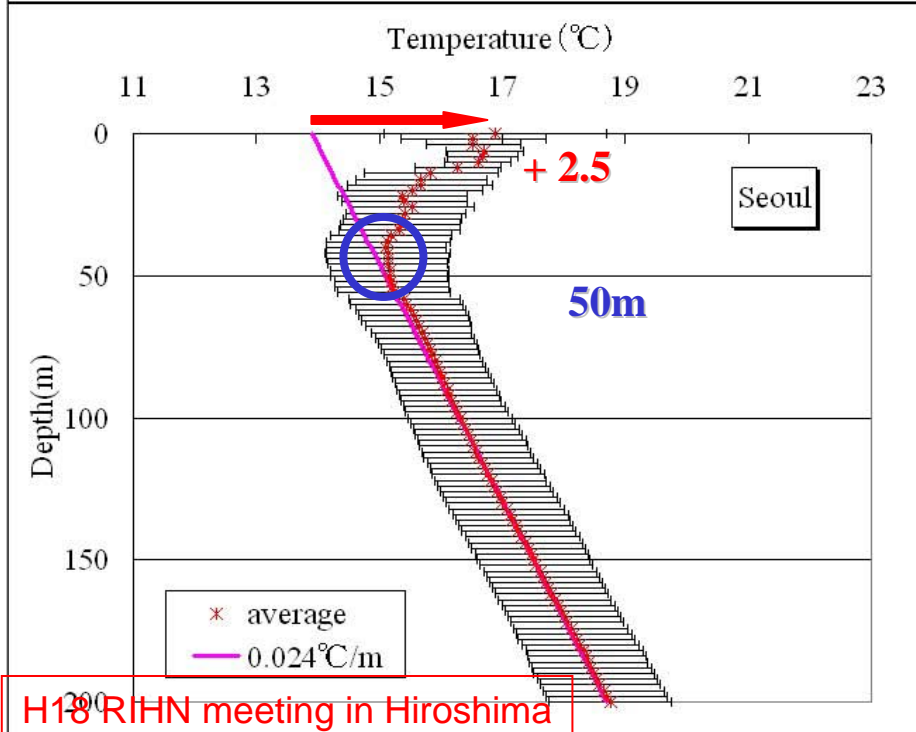
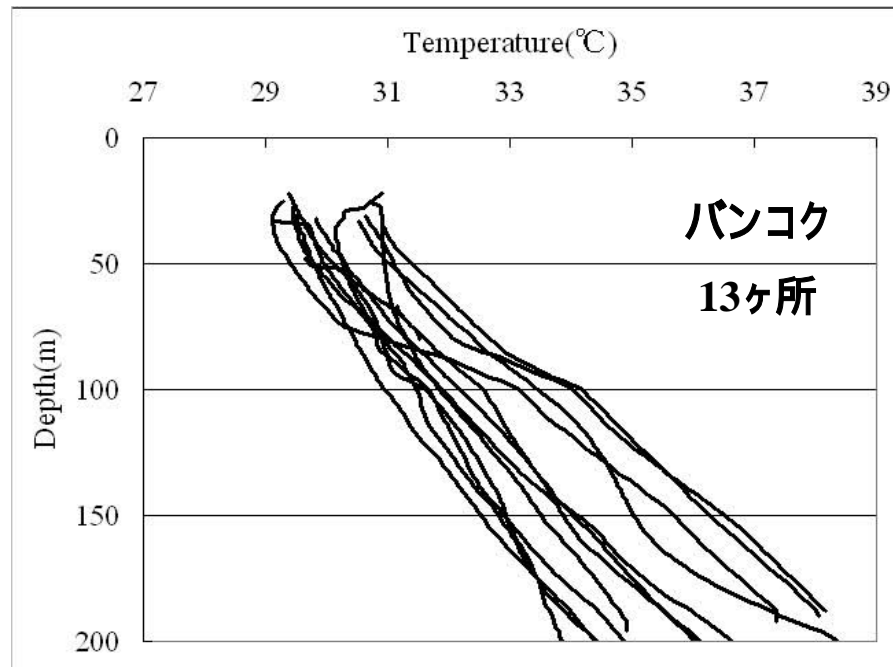
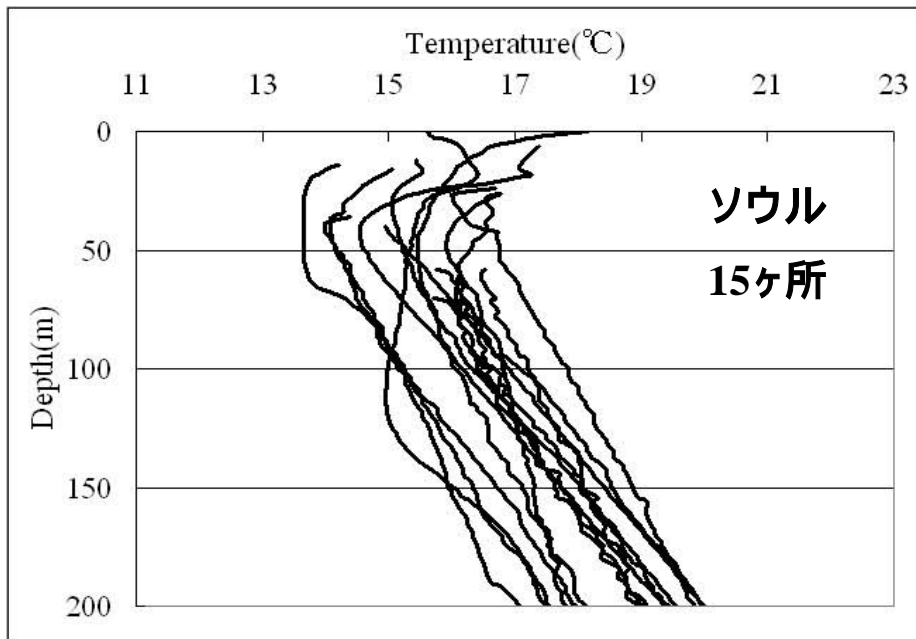


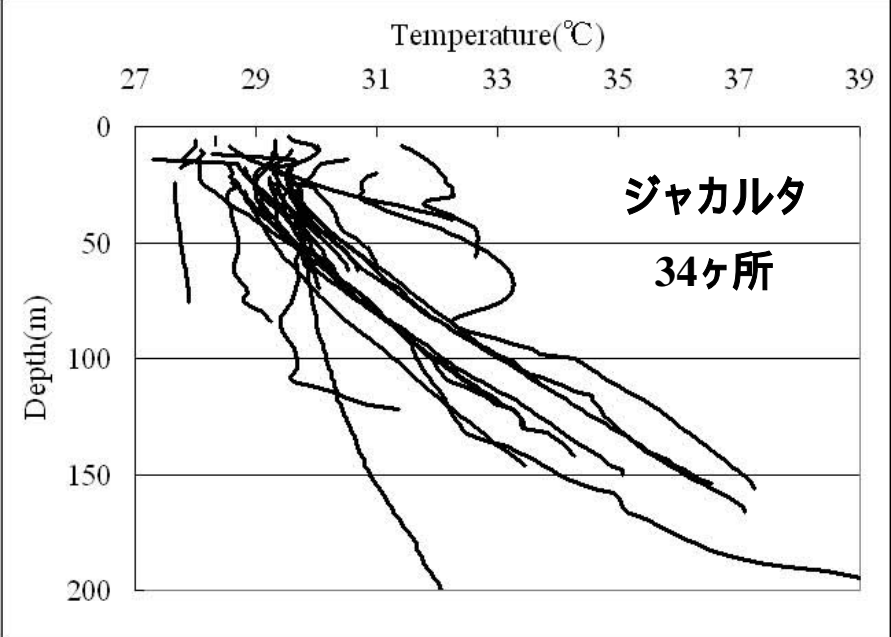
Jakarta : 34 boreholes



H18 RIHN meeting in Hiroshima

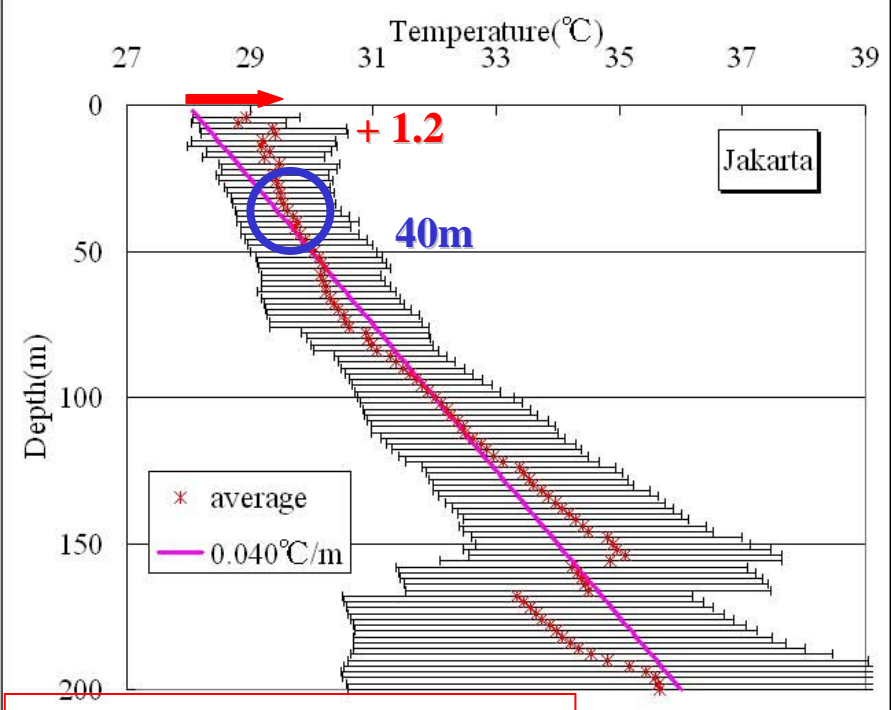






**温度プロファイルから外装して求めた  
温度上昇量**

- 東京 (Tokyo): +2.8
- ソウル (Seoul): + 2.5
- 大阪 (Osaka): + 2.2
- バンコク (Bangkok): + 1.8
- ジャカルタ (Jakarta): + 1.2



**地温勾配からずれる深度**

- 東京 (Tokyo): 140m
- 大阪 (Osaka): 80m
- ソウル (Seoul): 50m
- バンコク (Bangkok): 50m
- ジャカルタ (Jakarta): 40m

# 各都市の気温変動

東京 (Tokyo)

2.96 /100year  $R^2=0.814$

大阪 (Osaka)

2.22 /100year  $R^2=0.695$

ジャカルタ (Jakarta)

1.36 /100year  $R^2=0.700$

ソウル (Seoul)

2.39 /100year  $R^2=0.582$

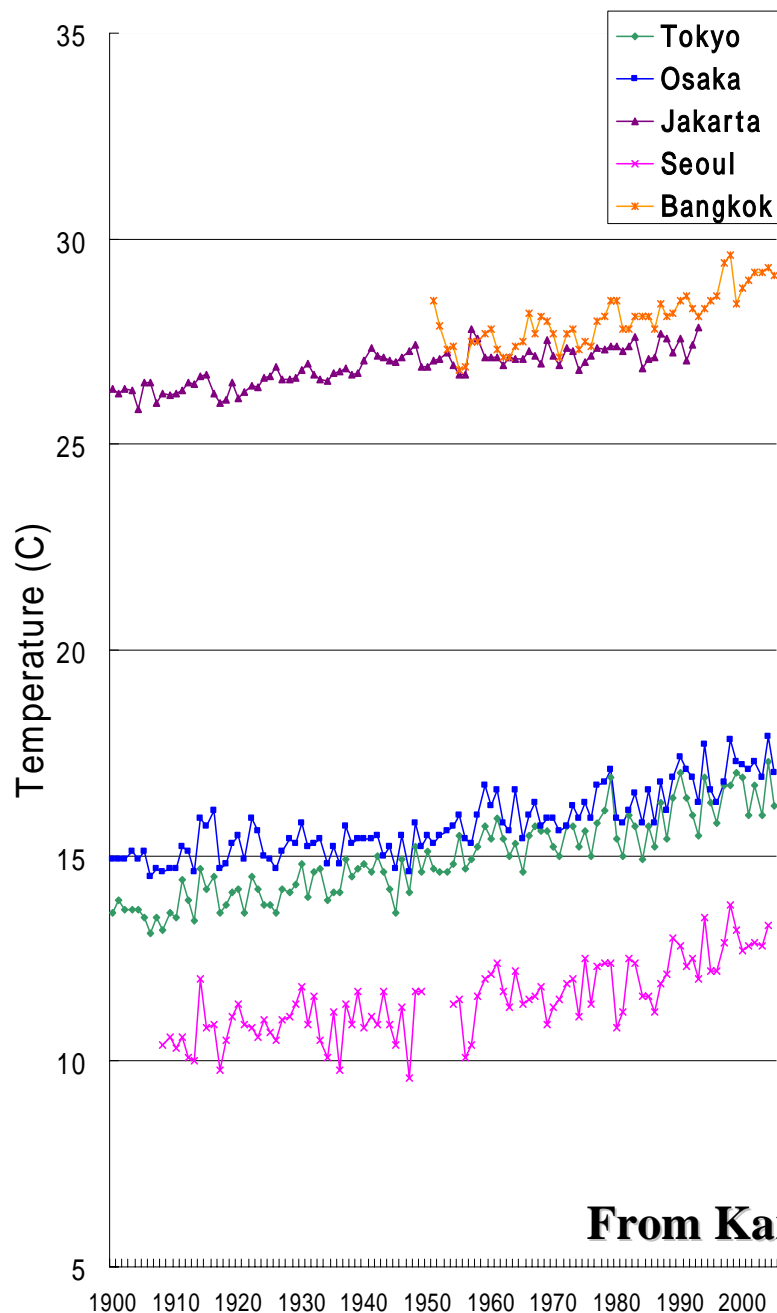
バンコク (Bangkok)

1.64 /50year  $R^2=0.631$

Global warming 0.5~0.6/100year  
(Hansen and Lebedeff, 1987)

H18 RIHN meeting in Hiroshima

Air Temperature (Asian Cities)

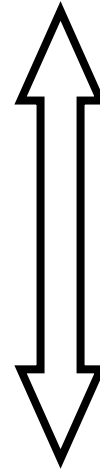


From Karen

# 各都市の気温変動

## 温度上昇量

東京 (Tokyo): 2.96 /100year  
ソウル (Seoul): 2.39 /100year  
大阪 (Osaka): 2.22 /100year  
バンコク (Bangkok): 1.64 /50year  
ジャカルタ (Jakarta): 1.36 /100year

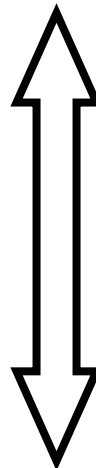


温度上昇 大

温度上昇 小

## 温度上昇開始時期

東京 (Tokyo): 1920s  
大阪 (Osaka): 1940s  
ソウル (Seoul): 1960s  
バンコク (Bangkok): 1960s  
ジャカルタ (Jakarta): 1980s



温度上昇開始時期 早

温度上昇開始時期 遅

# 気温データと地下温度データの比較

## 気温データから推定される温度上昇量

東京 (Tokyo): 2.96 /100year  
ソウル (Seoul): 2.39 /100year  
大阪 (Osaka): 2.22 /100year  
バンコク (Bangkok): 1.64 /50year  
ジャカルタ (Jakarta): 1.36 /100year

## 気温データから推定される温度 上昇開始時期

東京 (Tokyo): 1920s  
大阪 (Osaka): 1940s  
ソウル (Seoul): 1960s  
バンコク (Bangkok): 1960s  
ジャカルタ (Jakarta): 1980s

## 温度プロファイルから外装した温度上昇量

東京 (Tokyo): 2.8  
ソウル (Seoul): 2.5  
大阪 (Osaka): 2.2  
バンコク (Bangkok): 1.8  
ジャカルタ (Jakarta): 1.2

## 地温勾配からずれる深度

東京 (Tokyo): 140m  
大阪 (Osaka): 80m  
ソウル (Seoul): 50m  
バンコク (Bangkok): 50m  
ジャカルタ (Jakarta): 40m

# 解析解

$$T(z, t) = T_0 + a(z - Ut) + \left\{ (b + aU) / 2U \right\} \\ \cdot \left[ (z + Ut) e^{Uz/k} \cdot \operatorname{erfc} \left\{ (z + Ut) / 2(k t)^{1/2} \right\} \right. \\ \left. + (Ut - z) \cdot \operatorname{erfc} \left\{ (z - Ut) / 2(k t)^{1/2} \right\} \right]$$

Carslow and Jaeger (1959)

$$U = \frac{V_z C_w \rho_w}{c\rho}$$

$V_z$  : 鉛直方向の地下水流動量 (m/y)

$C_0$  : 流体の熱容量 (J/m<sup>3</sup>· )

$C$  : 地層の熱容量 (J/m<sup>3</sup>· )

$T$  : 温度 ( )

$z$  : 深度 (m)

$t$  : 時間 (y)

$T_0$  :  $t=0$ における地表面温度 ( )

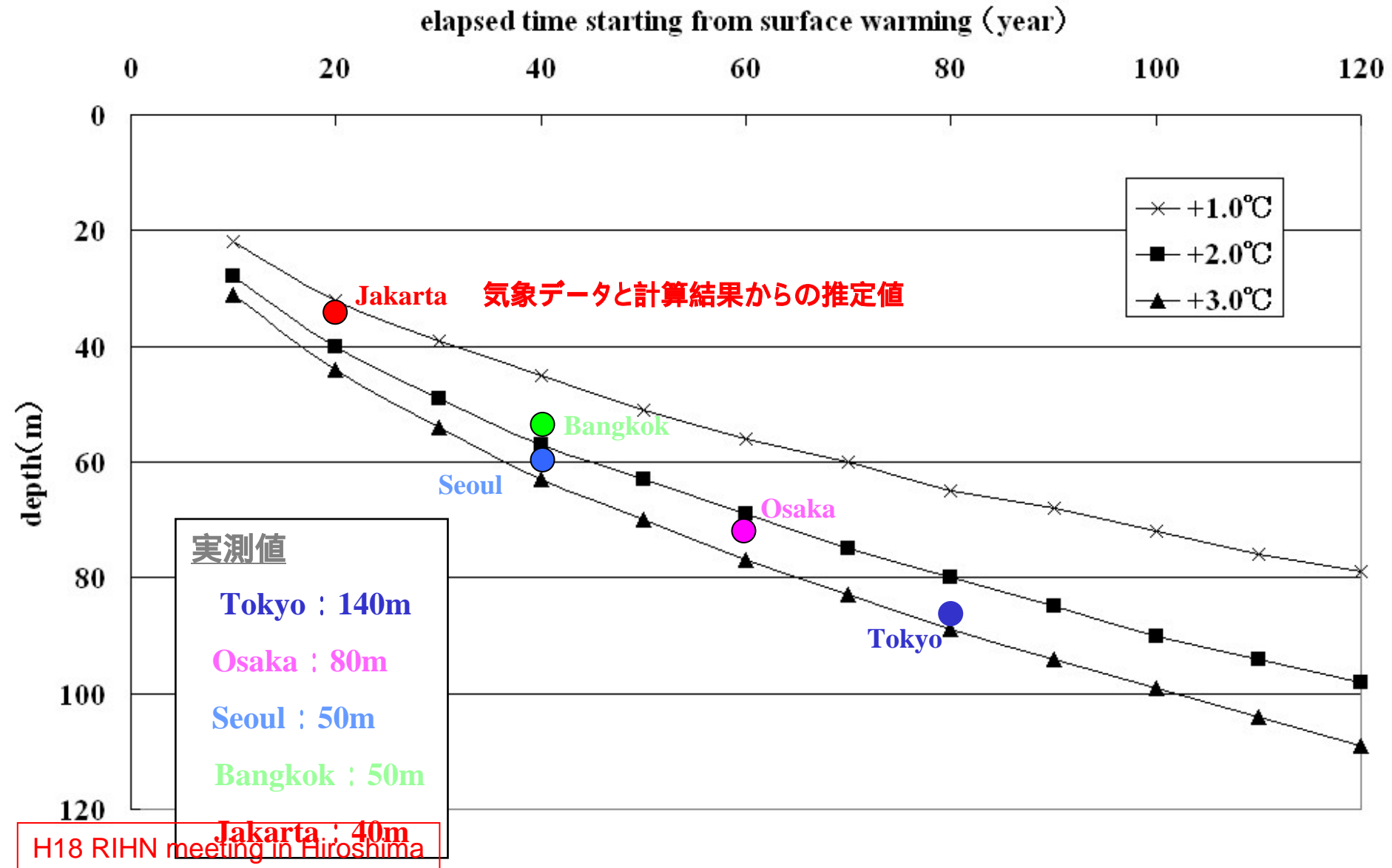
$a$  : 地温勾配 ( /m)

$b$  : 地表面温度上昇率 ( /y)

$k$  : 熱伝導率 (J/m·y· )

地表面温度変化・地下水流動に関するパラメータを変えて  
地下温度分布を計算

# 計算結果(平均地温勾配からのズレ深度)



# まとめ

- アジア各都市の平均的な地下温度プロファイルには、**各都市の気温変動を受けて温度上昇**が見られる。
- 実際の地下温度プロファイルが、**平均的な地温勾配から離れる深度**は、**温度上昇時期と温度上昇量**に依存し、**地表面温度復元の指標**となる。
- 都市の温度環境変化 (**土地利用変化・人口などの都市データ**) や地下水流動をさらに考慮する。