

ヒートアイランド対策としての地下水を 活用した地表面散水の効果検証

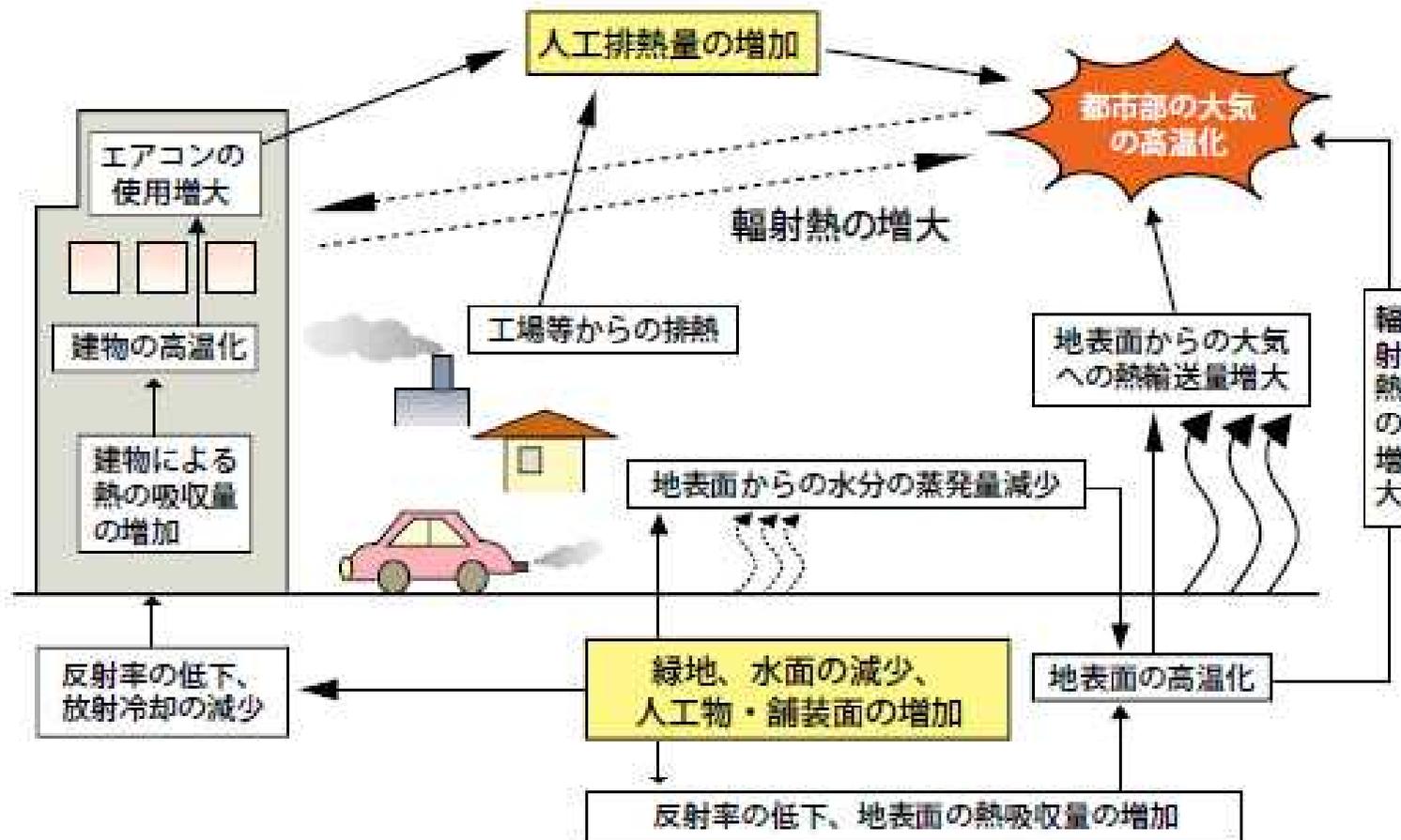
 株式会社 環境総合テクノス

環境部 都市環境グループ
内山 和也

ヒートアイランド現象

(ヒートアイランド現象の原因)

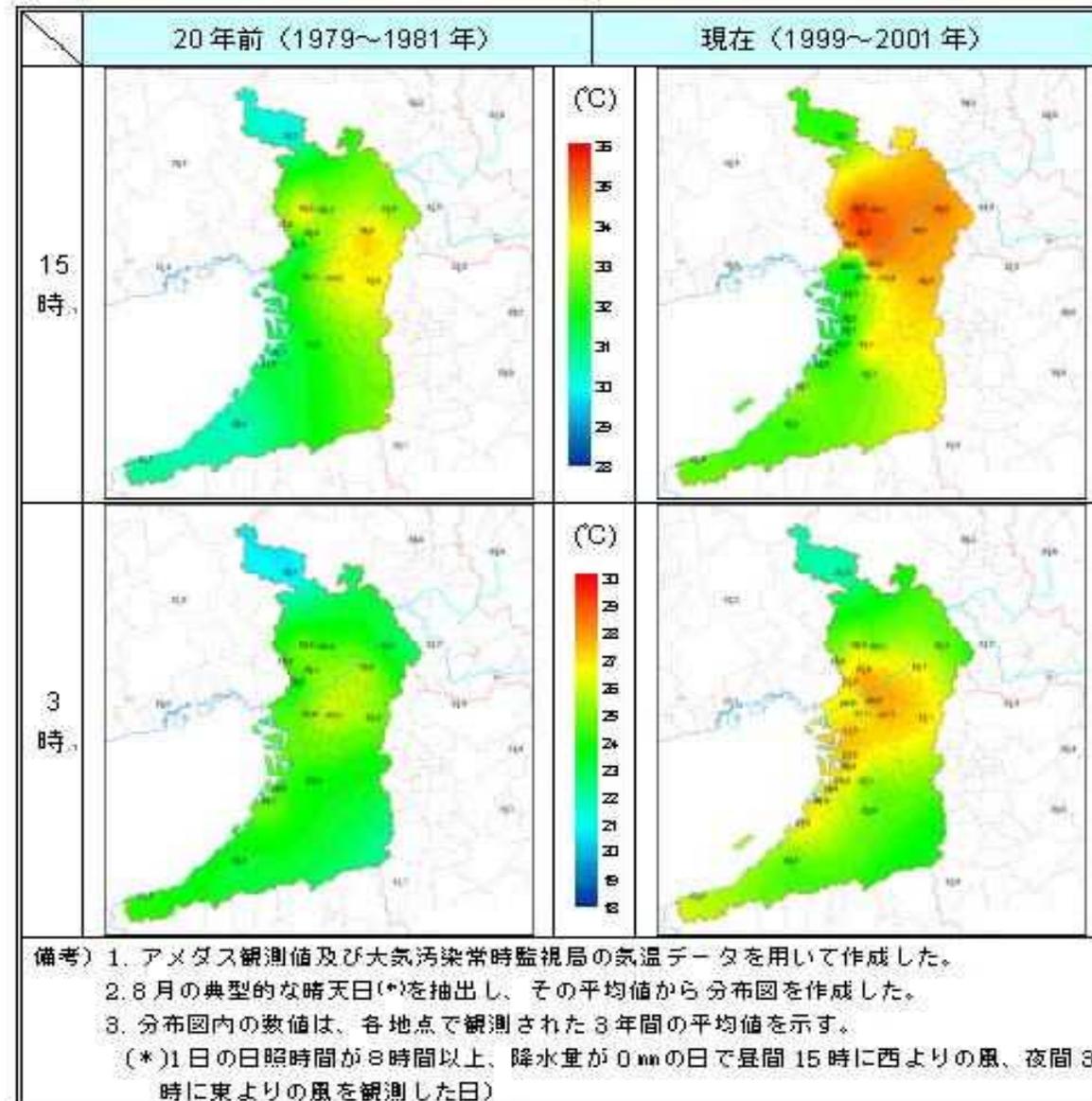
都市の中心部の気温が郊外に比べて島状に高くなる現象



環境省ホームページより



ヒートアイランド現象 (大阪府の気温分布変化)

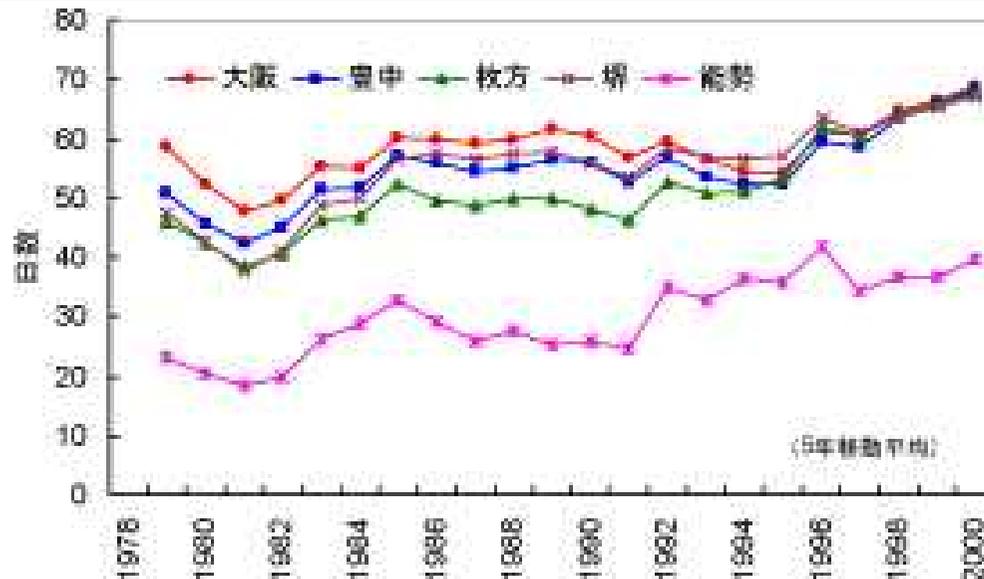


大阪府域の気温分布

大阪府ホーム
ページより

ヒートアイランド現象

(堺地域の気温の経年変化)

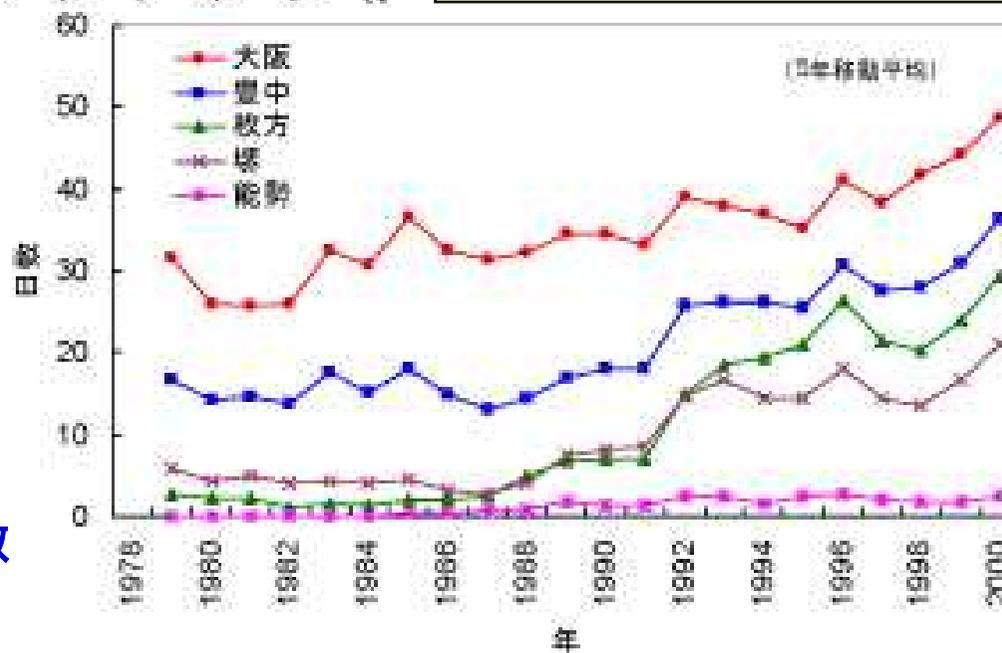


堺

近年、真夏日、熱帯夜数が増加傾向にある。

堺地域では熱帯夜対策よりも、日中の気温低減対策が必要。

大阪府域の真夏日数



堺

大阪府域の熱帯夜数

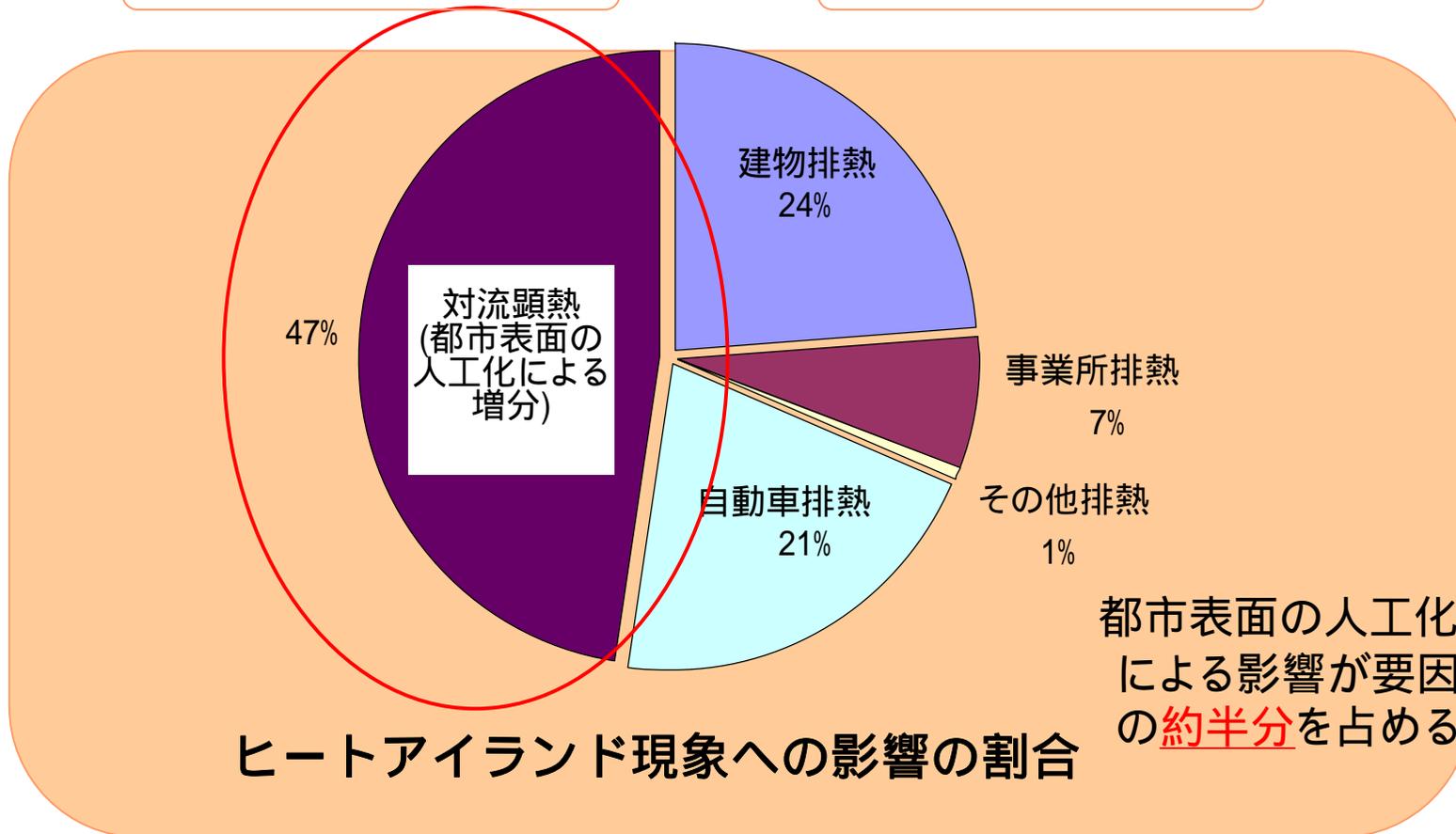
大阪府ホームページより



ヒートアイランド現象 (都市表面の人工化)

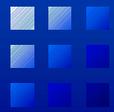
都市表面の人工化

人工排熱の増加



出典: 環境省

都市の表面 (建築物・舗装面etc...) への対策が重要

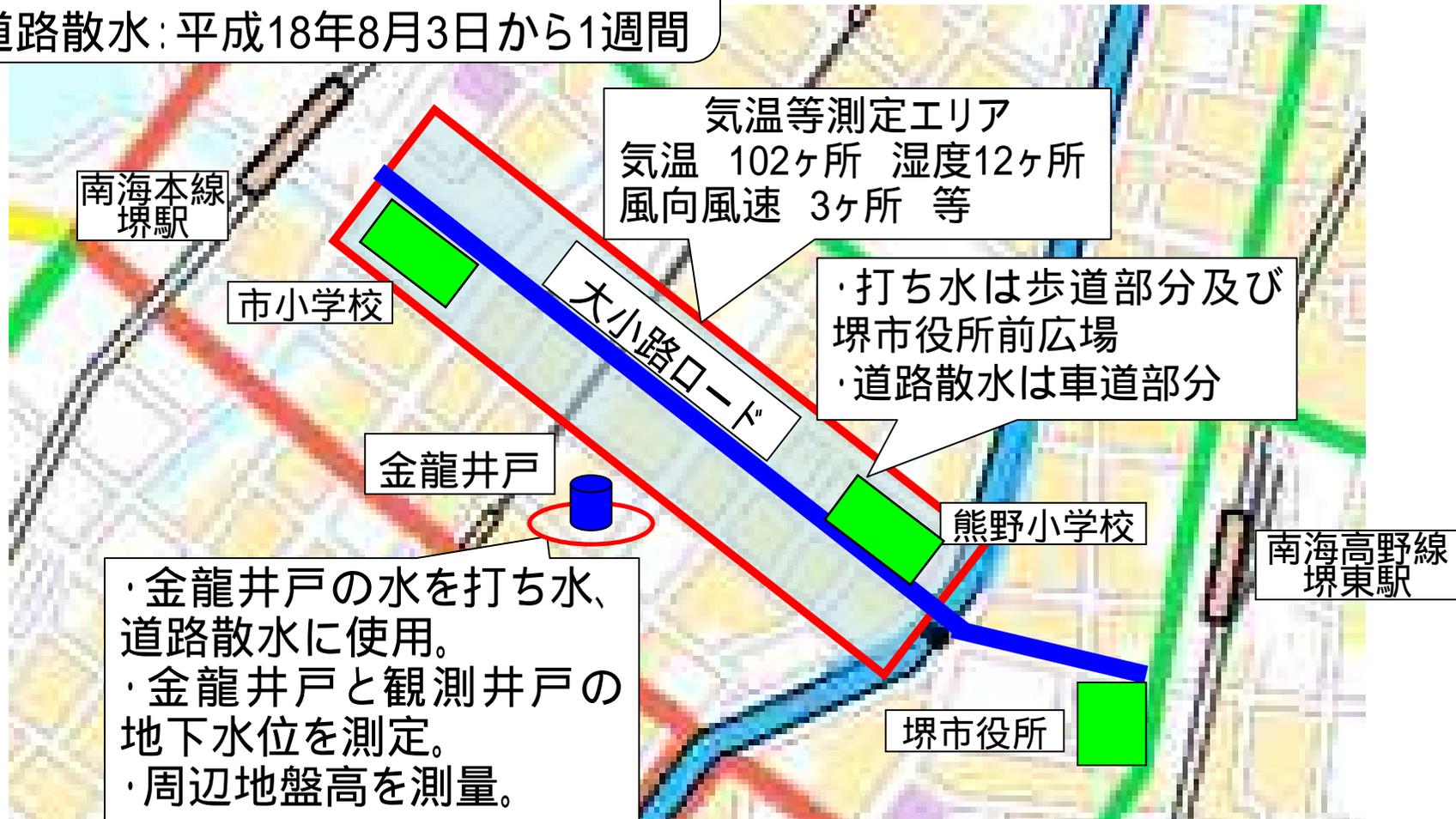


ヒートアイランド対策実施内容

実施日

打ち水:平成18年8月10日午後2時～

道路散水:平成18年8月3日から1週間





気温等測定位置図

気温102ヶ所

湿度12ヶ所

風向風速3ヶ所

熱画像 1ヶ所

日射量 1ヶ所

凡例

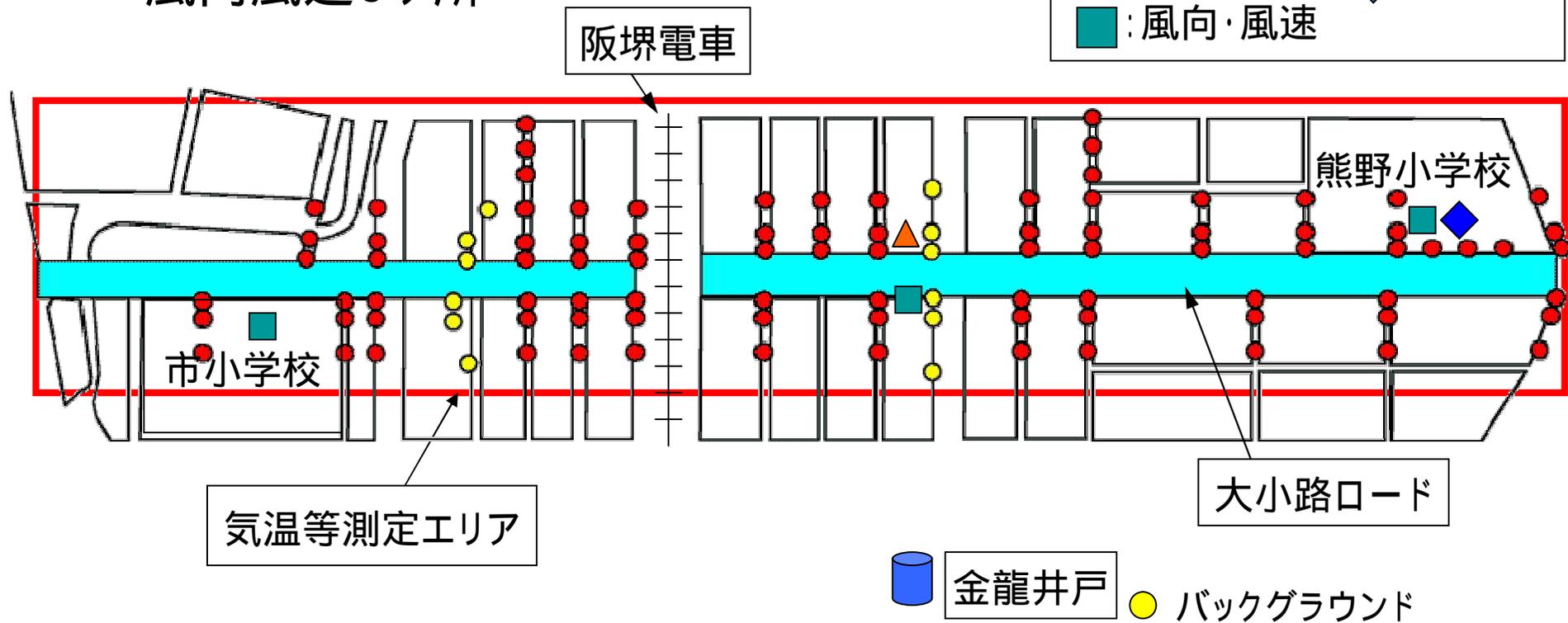
● : 気温

● : 気温・湿度

■ : 風向・風速

▲ : 熱画像

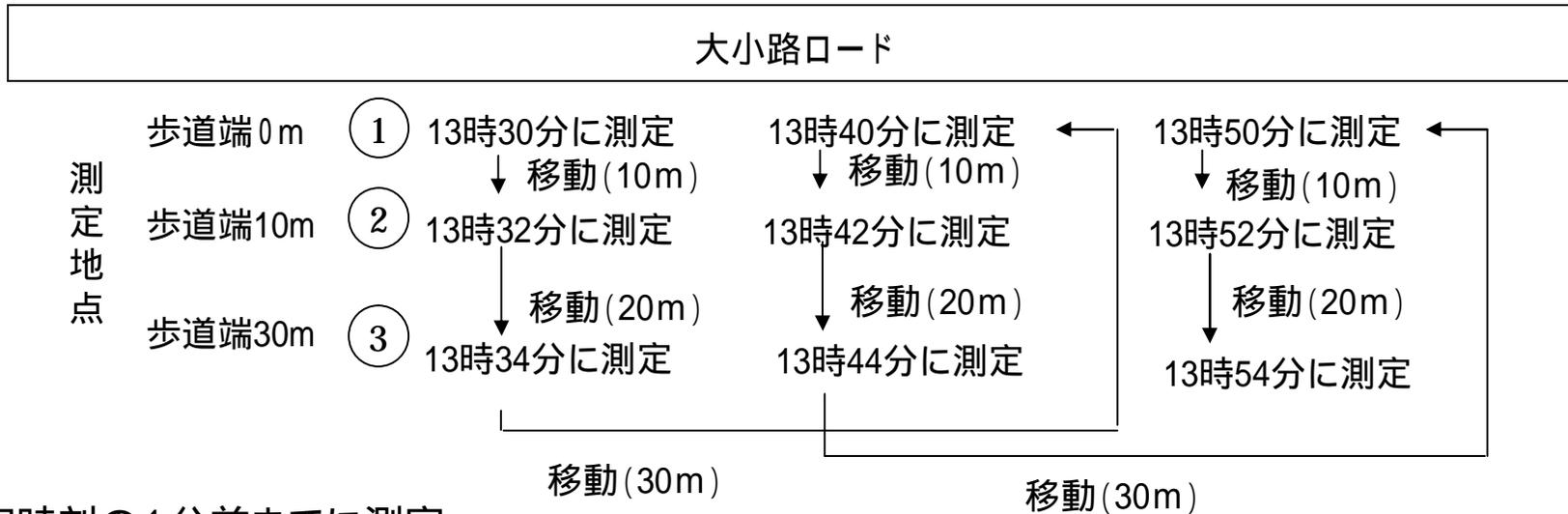
◆ : 日射量





気温測定方法

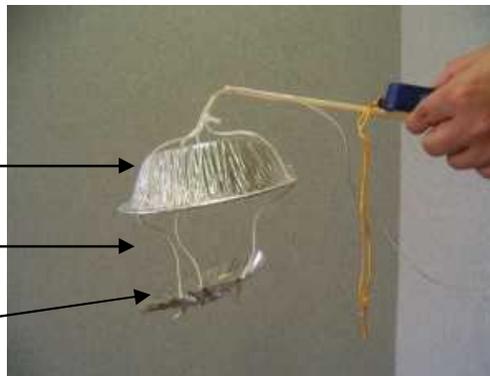
90ヶ所の移動測定点の気温の測定方法



測定時刻の1分前までに測定位置に移動し、センサー部分の高さを1.2mに保持し、1分後の測定値を結果とした。

測定状況

- 日射遮へい
- 自然通風
- 地面からの反射を遮へい

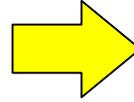




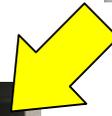
打ち水、道路散水の実施状況(1)



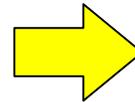
金龍井戸から揚水



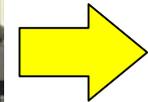
打ち水の準備



打ち水の練習



午後2時 打ち水開始の合図





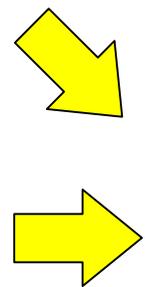
打ち水、道路散水の実施状況(2)



歩道に打ち水



道路に散水



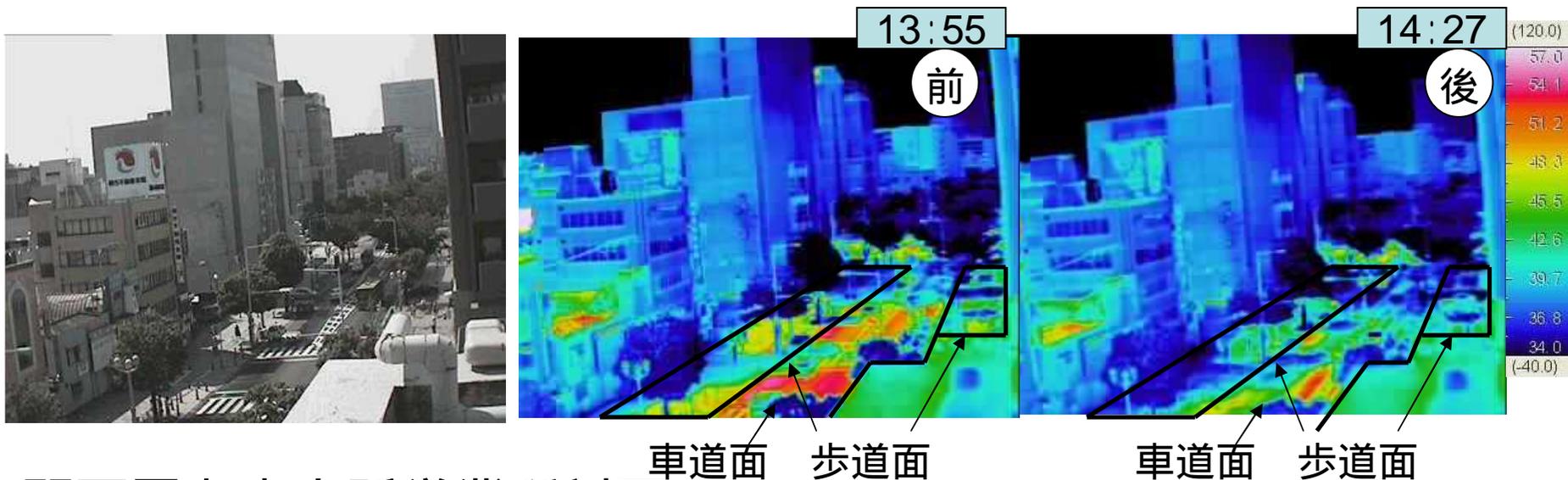
午後2時30分 打ち水終了宣言



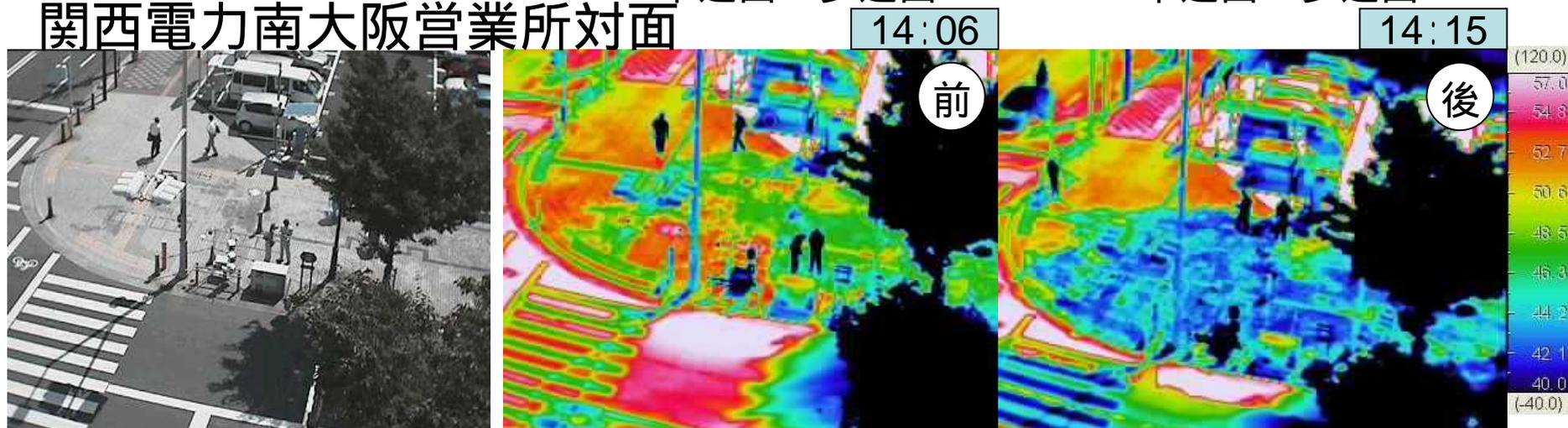
打ち水による気温低減効果

(熱画像による温度変化)

関西電力南大阪営業所から西方向(堺駅方向)



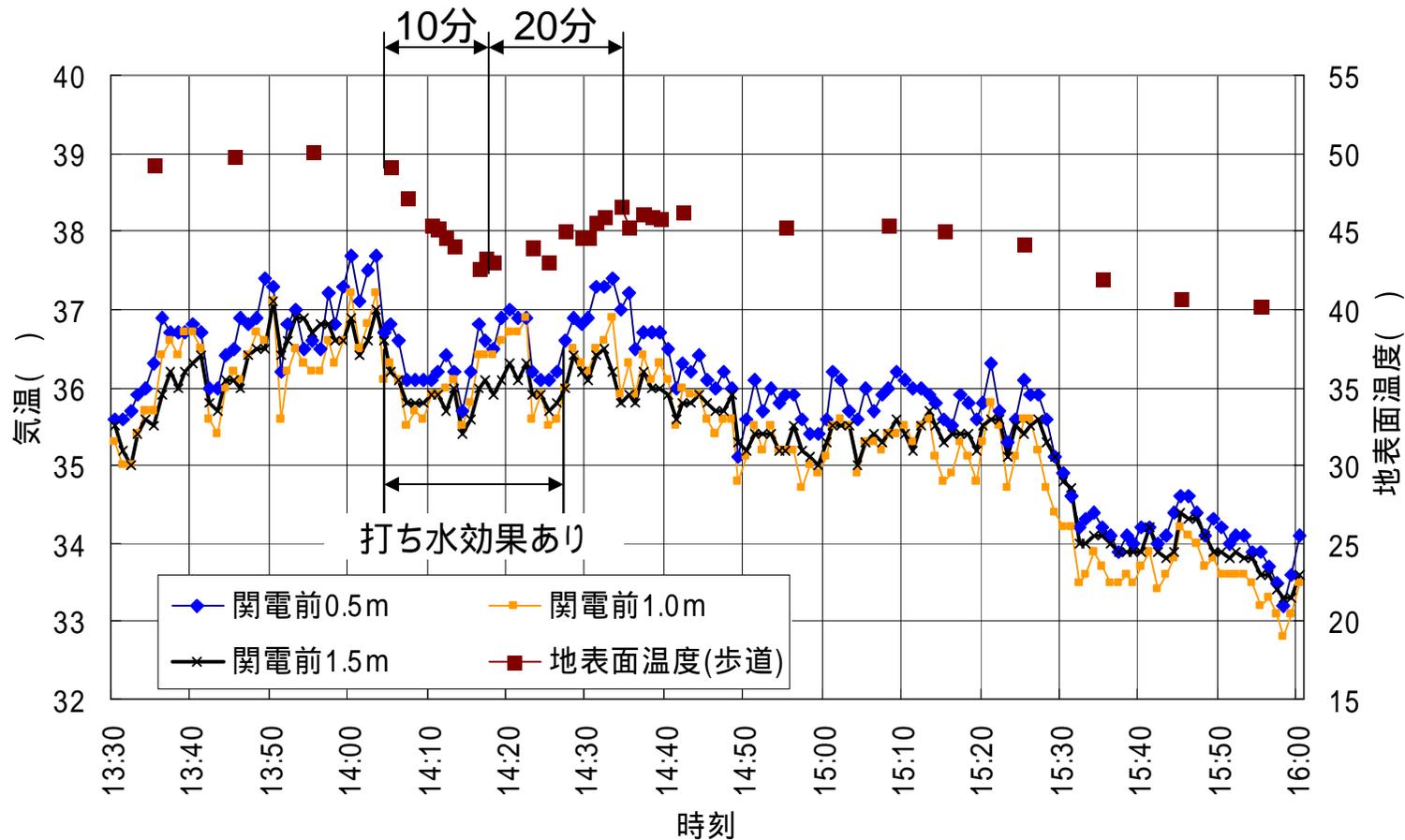
関西電力南大阪営業所対面





打ち水による気温低減効果 (地表面温度と気温の変化)

- 打ち水を行った歩道の地表面温度とその地点の高さごと(0.5m,1.0m,1.5m)の気温変化
- 打ち水から約10分間で地表面温度が低下し、その後、約20分間は地表面温度低下が継続した。地表面温度は7 程度低下、気温は1.5 程度低下。

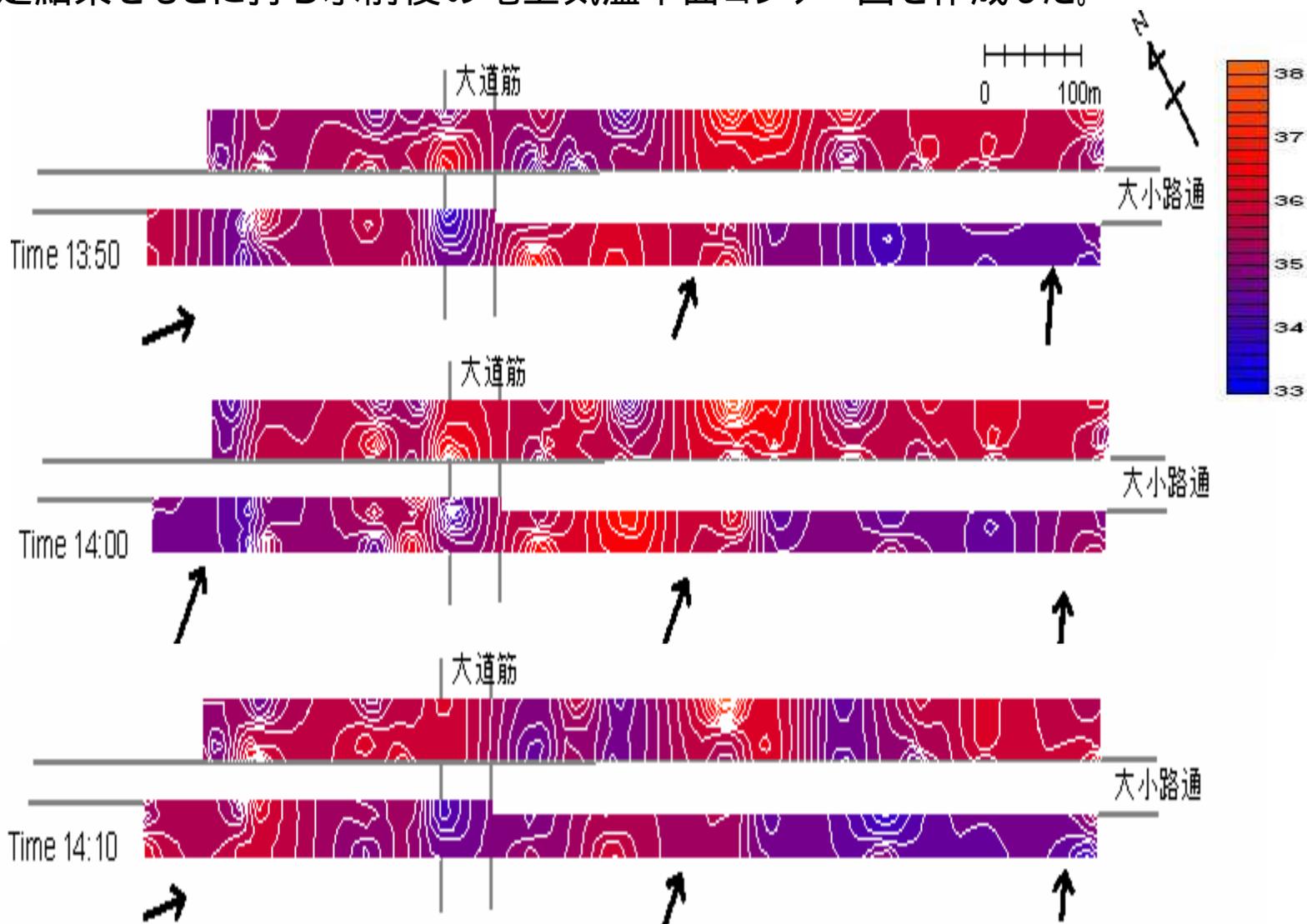




打ち水による気温低減効果

(地上気温平面コンター図 1)

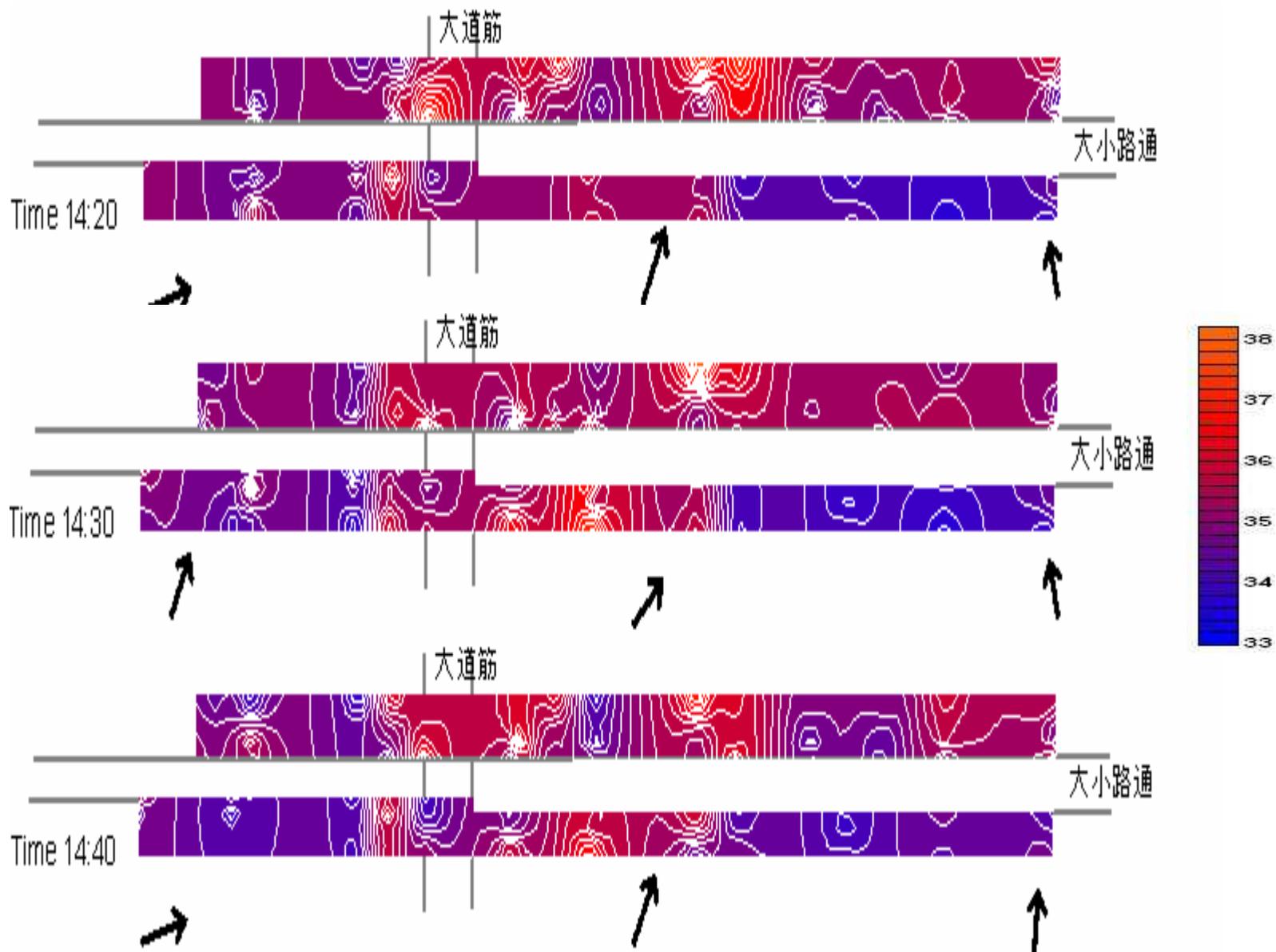
気温測定結果をもとに打ち水前後の地上気温平面コンター図を作成した。





打ち水による気温低減効果

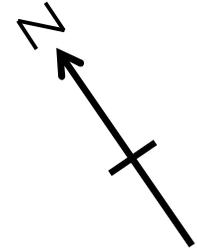
(地上気温平面コンター図 2)





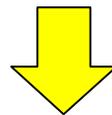
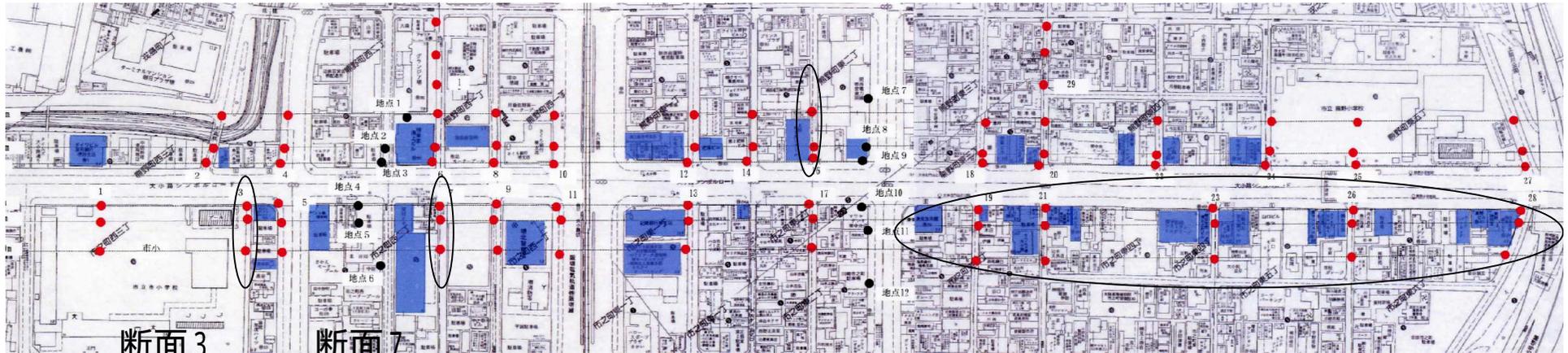
打ち水による気温低減効果

(周辺の高層建築物の分布状況)



■ : 4階建以上の建物

断面16



断面21、23、26、28では細街路で道路の両側に高層建物がある。

建物の陰で地表面温度の上昇が抑えられたことで気温が他の地点に比べ低い傾向となったものと考えられる。

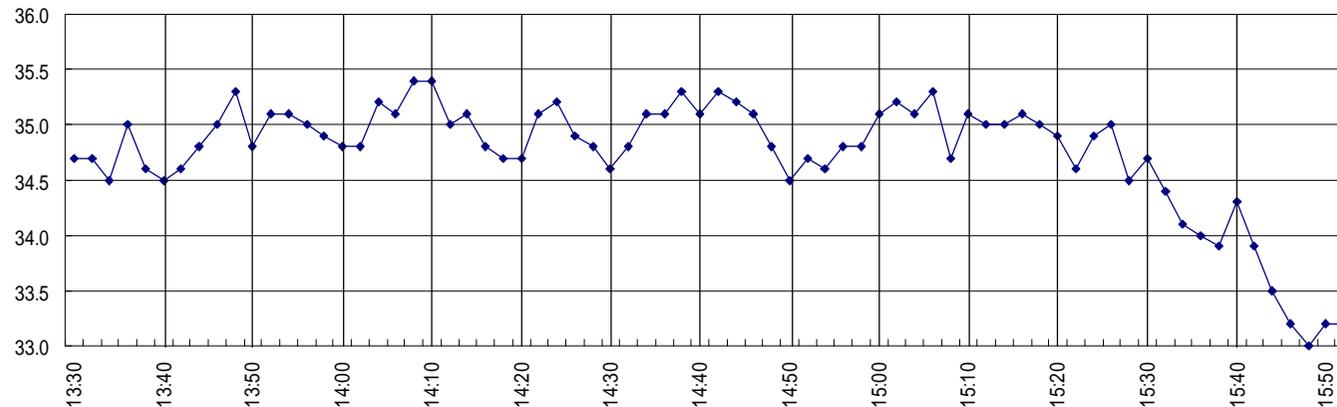


打ち水による気温低減効果

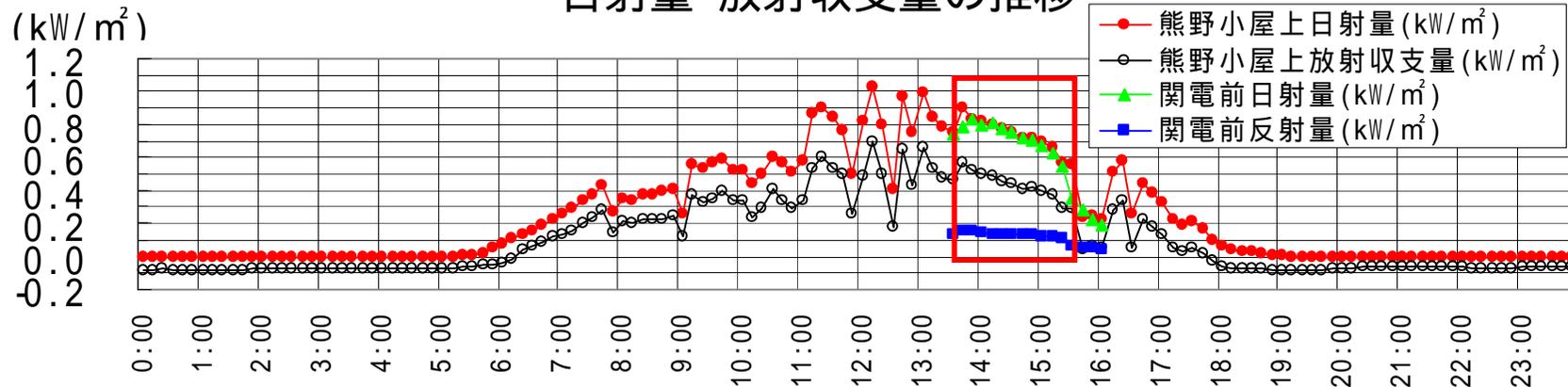
(打ち水日の日射量、放射量の一日の時間変化)

打ち水実施時の日射量、放射収支量に乱れはなく、晴天であった。
晴天時、気温は常に1~2 変動している。

バックグラウンドの気温変化



日射量・放射収支量の推移

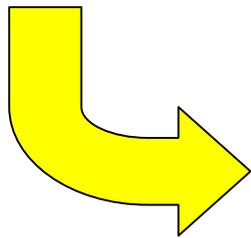
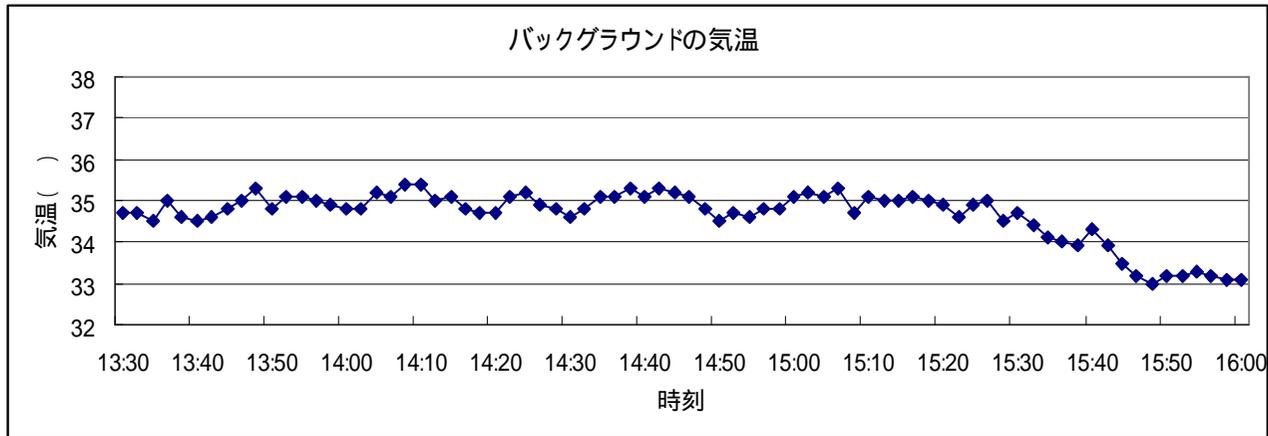


2006年8月10日

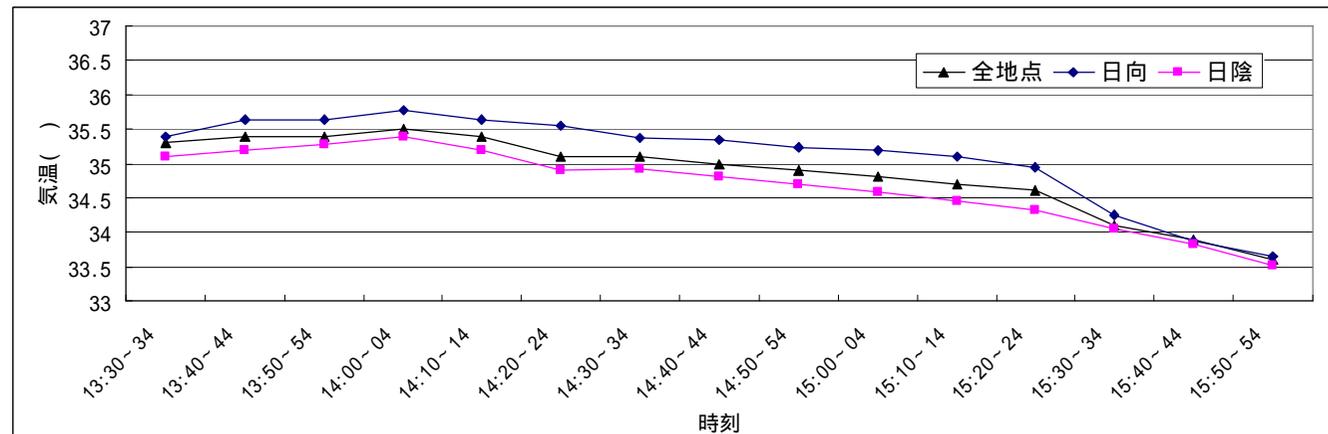


打ち水による気温低減効果 (バックグラウンドの気温変化)

- バックグラウンドの気温は常に1 程度の変動があるため、バックグラウンドの気温との差を打ち水の効果としてみるのは難しい。



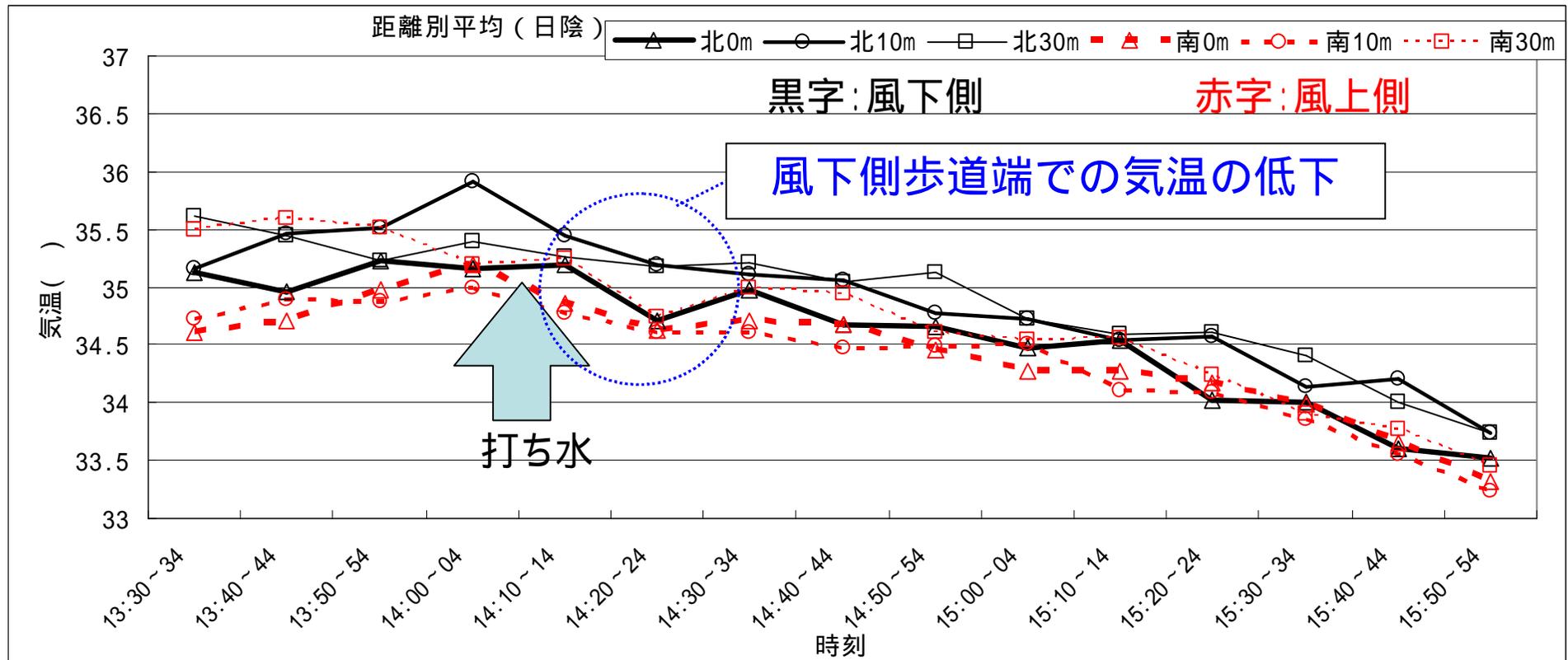
全地点(日向、日陰別)の平均気温の変化





打ち水による気温低減効果 (日陰地点の平均気温)

- 日陰地点の平均では時間経過による気温の低下傾向がみられた。
- 日陰地点の風下側歩道端で打ち水後、気温の低下がみられた。



日陰地点の平均気温の変化



打ち水による気温低減効果

(日陰地点の打ち水時の気温低下量)

単位:

| 地点 | | 14:10(打ち水 10分後) | 14:20(打ち 水20分後) | 差 |
|--------------|--------|--------------------|--------------------|------|
| 風下側 | 歩道端0m | 35.20 | 34.70 | 0.50 |
| | 歩道端10m | 35.45 | 35.19 | 0.26 |
| | 歩道端30m | 35.26 | 35.18 | 0.08 |
| 風上側 | 平均値 | 34.93 | 34.64 | 0.29 |
| 打ち水による気温低減効果 | | - | - | 0.21 |

- 打ち水による気温の低減の影響範囲は風下側で歩道端から数mの範囲程度であり、効果の継続時間は打ち水開始後20分程度といえる。効果の程度は打ち水を行った範囲の端で0.2 程度の効果であるといえる。



打ち水による気温低減効果

(打ち水時の熱収支の基礎データ 1)

●今回の打ち水観測で得られたデータから簡易的に顕熱、潜熱の定量把握について検討を行った。

1. 打ち水の潜熱化量

潜熱化量算定の条件

| 項目 | 条件 |
|---------|--|
| 打ち水量 | 0.4mm |
| 打ち水開始時刻 | 14:00 |
| 蒸発終了時刻 | 14:45 |
| 蒸発時刻 | 45分 (気温観測時の路面濡れ時間の記録より) |
| 水の気化熱量 | $2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ |
| 水の比重 | 1000 kg/m^3 |
| 日射量 | 打ち水前 826 W/m^2 、打ち水後 608 W/m^2 |
| 放射収支量 | 打ち水前 516 W/m^2 、打ち水後 448 W/m^2 |

0.4mmの水量が45分で気化したことになるので潜熱化量は、
 $0.4 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{m}^2) \times 1000 (\text{kg}/\text{m}^3) \times 2.5 \times 10^6 (\text{J}/\text{kg}) / 2700 (\text{s}) = 370 (\text{W}/\text{m}^2)$

打ち水なしの場合の潜熱量を0とすると、打ち水によって日射量の半分程度の熱量が蒸発熱に使われたことになる。



打ち水による気温低減効果

(打ち水時の熱収支の基礎データ 2)

2. 打ち水前後における顕熱輸送量

バルク式

$$H = C_p C_H U \times (T_s - T)$$



打ち水前後における風速の差は小さい(前:1.4m/s、後:1.3m/s)ので、風速の違いは考慮しないものとする。

ここで、 H : 顕熱フラックス(上向きを正、 W/m^2)

C_p : 空気の体積熱容量($J/K/m^3$)

C_H : 顕熱輸送のバルク輸送係数(無次元)

U : 風速(m/s)

T_s : 地表面温度()

T : 大気の温度()



簡易的に顕熱輸送量 H が $(T_s - T)$ に比例すると仮定すると、

打ち水前後の歩道上の気温と地表面温度

| 項目 | 打ち水前 | 打ち水後 |
|---------------|------|------|
| 0.5m高での気温 T | 37.7 | 35.7 |
| 地表面温度 T_s | 50.1 | 43.0 |
| $T_s - T$ | 12.4 | 7.3 |

打ち水後の顕熱量は打ち水前の顕熱量に比べ、59% (7.3/12.4)と6割程度にまで減少したと推定される。



打ち水による気温低減効果

(打ち水時の熱収支の基礎データ 3)

3. 正味放射量について

今回、放射収支量の観測は、観測地点の制約から対象地域東側に位置する熊野小学校屋上で行った(下図)。ここでは、小学校屋上面も歩道面と同様の地面の状態であると便宜的に考えるものとする。



ただし、打ち水後の歩道上の正味放射量は、打ち水により地表面温度が低下したことで地表面からの長波放射量が減少するものと考えられ、その分を差し引くものとする。

打ち水前後の地表面温度



| 項目 | 打ち水前 | 打ち水後 |
|-------------|------|------|
| 地表面温度 T_s | 50.1 | 43.0 |



地表面からの長波放射量は T_s^4 (σ はステファン - ボルツマン定数: 5.67×10^{-8}) であることから、上向きの52(W/m²)を差し引いて 448+52=500(W/m²)程度であったと推定される。

歩道上の打ち水後の正味放射量は500 (W/m²)程度であったと推定される。



打ち水による気温低減効果

(打ち水時の熱収支の基礎データ 4)

4. 熱収支式について

熱収支式は以下のとおりとした。

$$R_n = H + E + G$$

ここで、 R_n : 地表面が吸収する正味放射量 (W/m^2)

H : 顕熱輸送量 (上向きを正、 W/m^2)

E : 潜熱輸送量 (上向きを正、 W/m^2)

G : 地中への伝導熱 (下向きを正、 W/m^2)

代入

$$\begin{aligned} \text{(打ち水前)} \quad & 516 = H_1 + 0 + G_1 \\ \text{(打ち水後)} \quad & 500 = H_2 + 370 + G_2 \end{aligned}$$



顕熱輸送量の比較より、

$$H_2 = 0.59 \times H_1$$



いくつかの文献によると、都市部における最夏期日中の顕熱 H_1 は150~300 W/m^2 程度とされている。この値を代入すると打ち水前後の各値は表のようになる。

| 時期 | 顕熱輸送量 (W/m^2) | 潜熱輸送量 (W/m^2) | 地中への伝導熱 (W/m^2) | ボーエン比 (顕熱輸送量 / 潜熱輸送量) |
|------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|
| 打ち水前 | 150 ~ 300 | 0 | 216 ~ 366 | - |
| 打ち水後 | 89 ~ 177 | 370 | -47 ~ 41 | 0.2 ~ 0.5 |

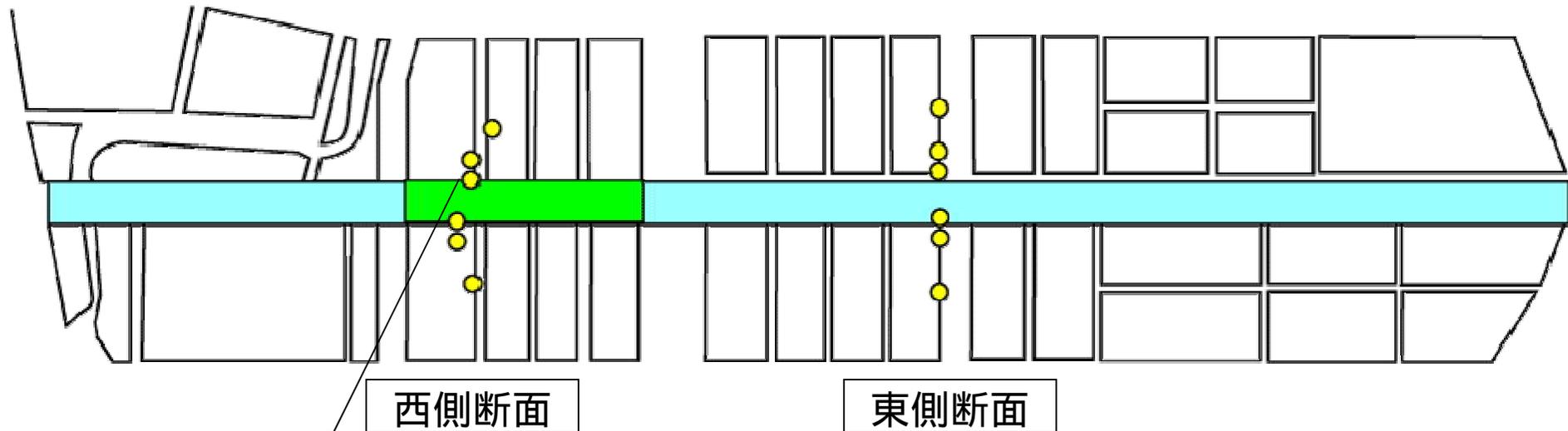
打ち水後のボーエン比で見ると、湿った裸地や林地と同程度といえる。



道路散水による気温低減効果 (実施方法)

実施方法

散水車で堺駅から堺東駅までの1.7kmを散水し、西側断面の部分のみ追加で散水を行い、散水量の違いを出した。



温度・湿度計を百葉箱に入れ、2分間隔で測定した。

- : 気温・湿度測定点
- (light blue) : 散水0.21mm
- (green) : 散水0.63mm



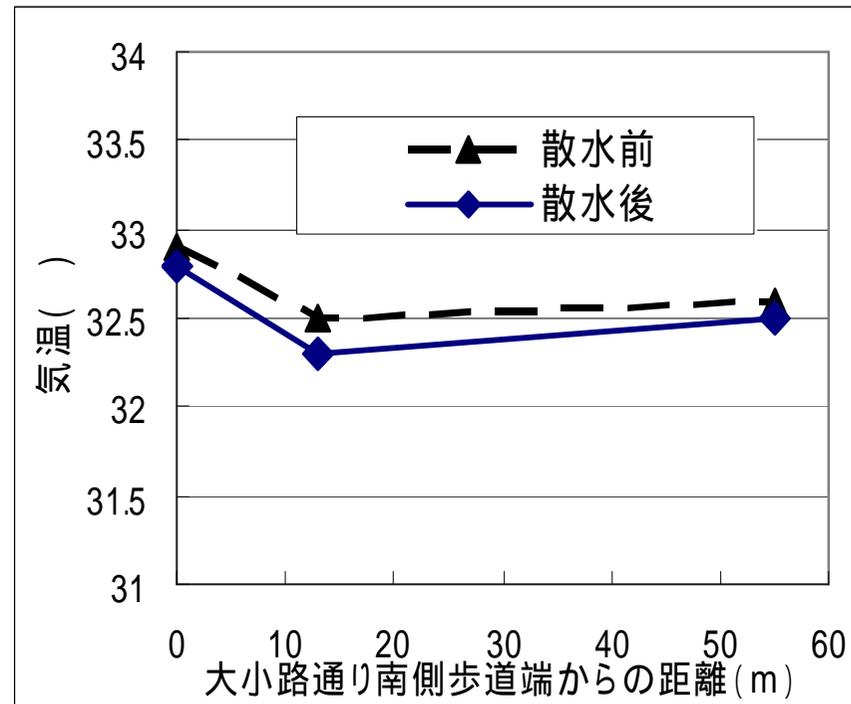
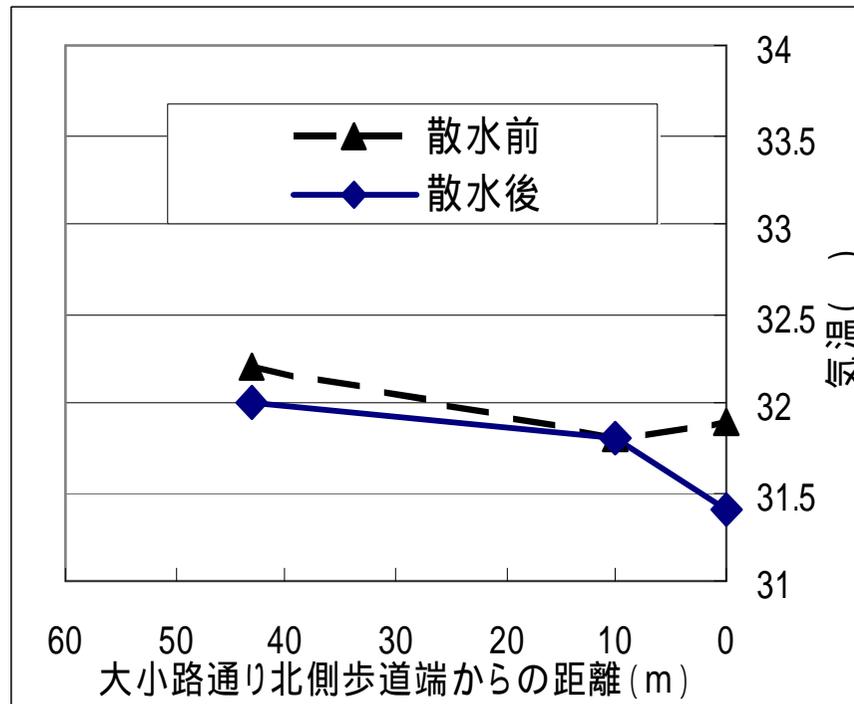
道路散水による気温低減効果

(散水日における気温距離減衰図)

東側断面

- 散水時間帯 16:11と16:17
- グラフの表示時刻 散水前16:10、散水後16:24

8月4日





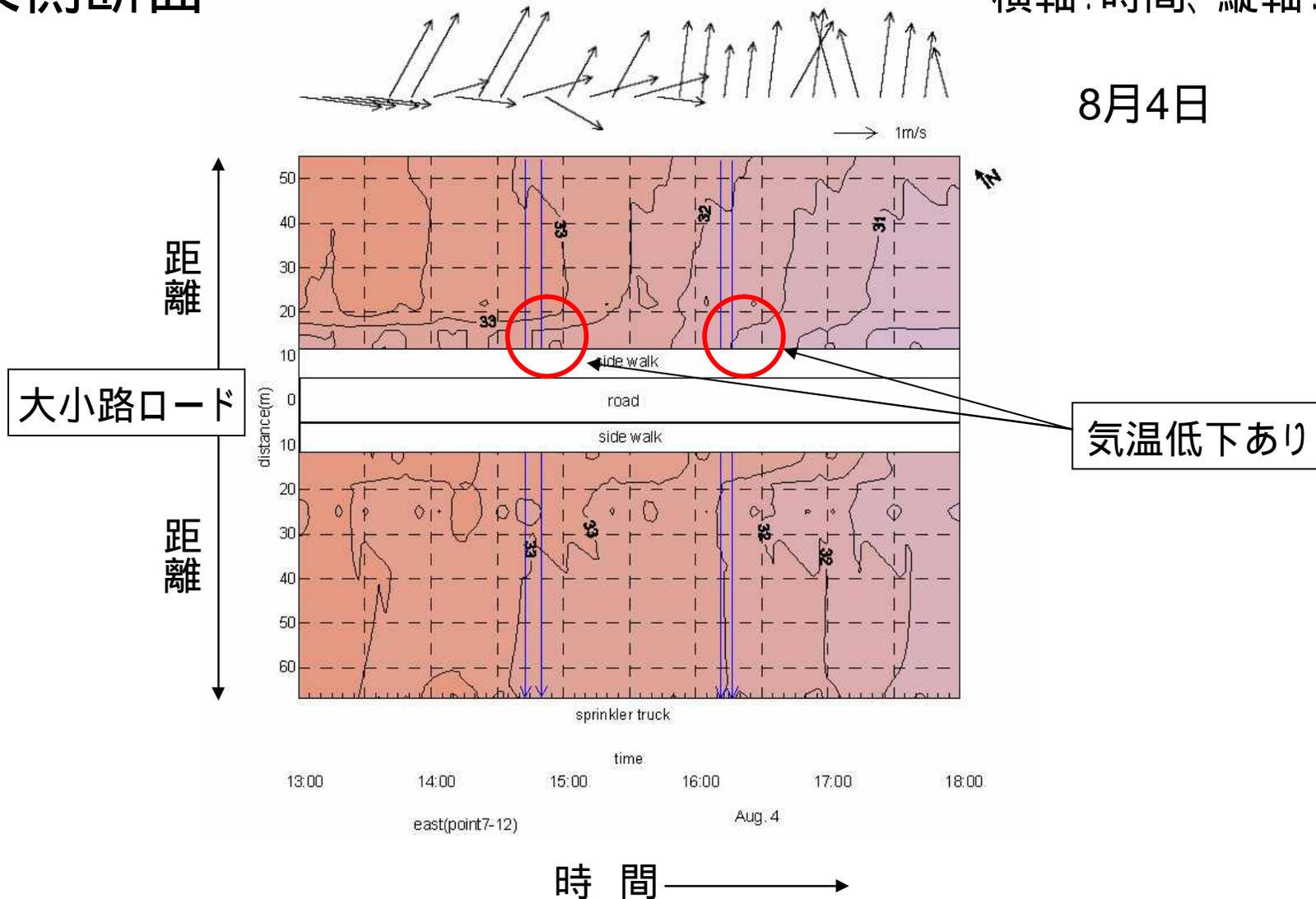
道路散水による気温低減効果

(散水日における気温コンター図)

東側断面

横軸：時間、縦軸：距離

8月4日





道路散水による気温低減効果

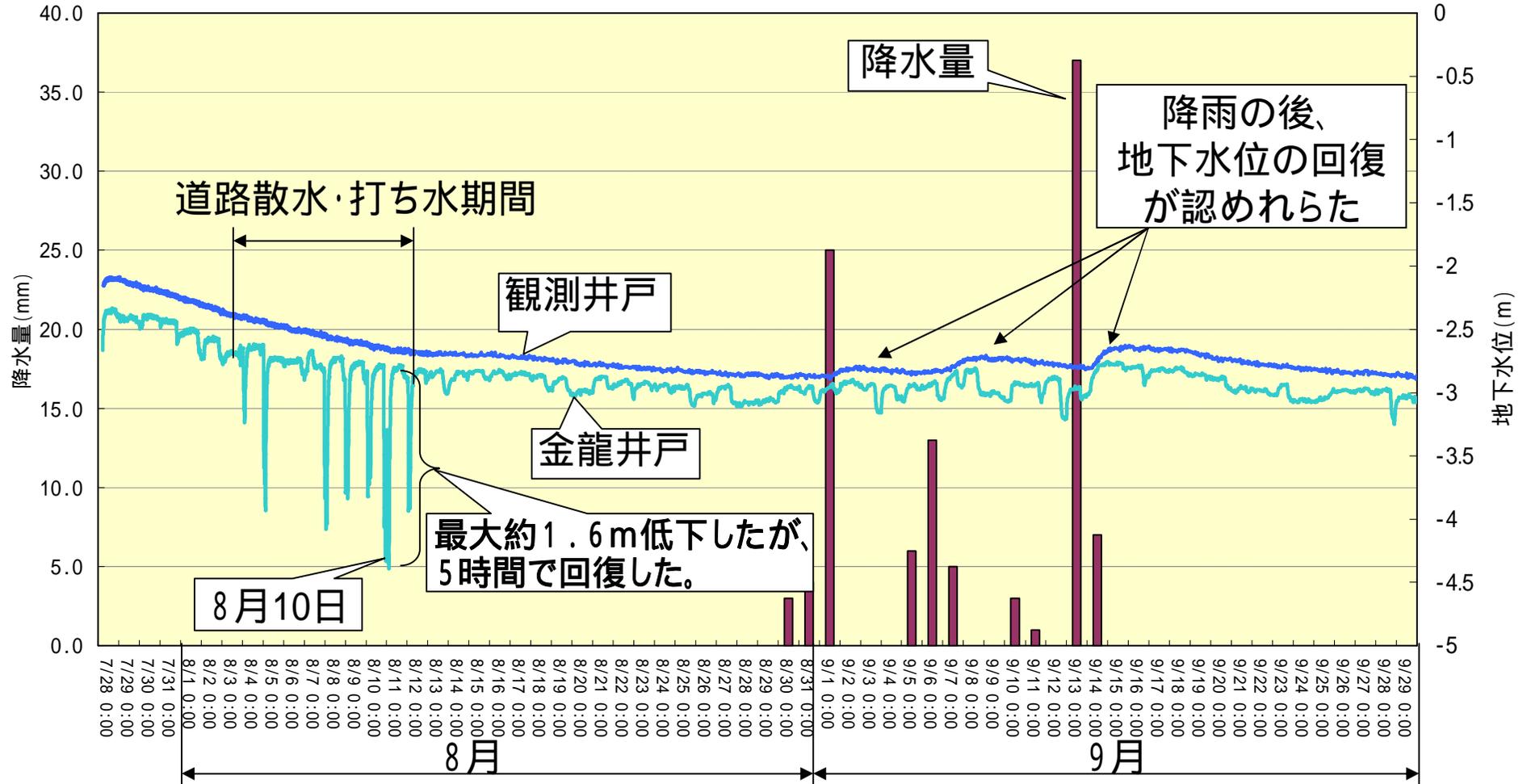
(道路散水量と気温低下量との関係)

- 風下風上間の気温差の散水前後比較を検定により有意差を調べた。
散水前後10データずつ
有意水準:10%両側検定
- 西側断面(散水量多い):15断面中10断面で有意差あり
東側断面(散水量少ない):15断面中5断面で有意差あり
- 有意差ありの散水時において0.1~0.7 の気温低下がみられた。



地下水位測定結果

地下水位の変化及び堺アメダス局の降水量

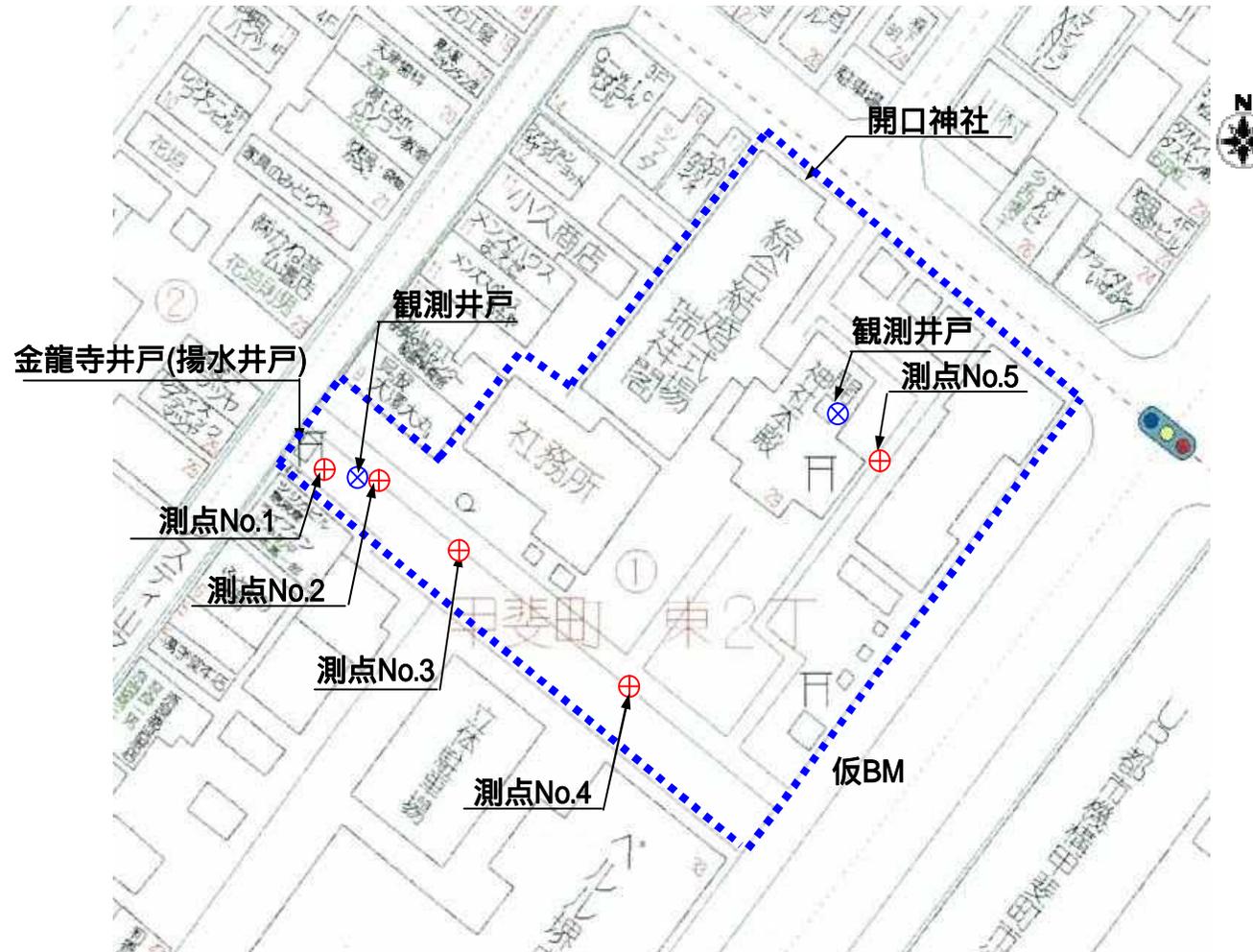




地盤沈下の確認

地盤高の測定結果により揚水井戸周辺の地盤環境影響の確認

観測点を5点設けて、打ち水日及びその前後の計3回地盤高の計測を実施した。





打ち水、道路散水による気温低減効果の評価

打ち水

- 打ち水を行った地表面温度の低下がみられた(7 程度)。打ち水から約10分間で地表面温度が低下し、地表面温度が低い状態は20分程度続いた。
- 打ち水を行った歩道上の気温は1.5 程度低下した。
- 気温の低下の効果がみられるのは、打ち水開始から20分間程度である。
- 歩道端以降の気温の低減は明確には観測されなかった。

道路散水

- 散水による気温低下が有意な差で認められ、風下側で0.1 ~ 0.7 の低下がみられた。
- 散水量と気温低下との間に明確な関係は認められなかった。
- 散水により湿度が増加する傾向がみられた。



地下水揚水に伴う地下水・地盤環境への影響評価

地下水・地盤環境まとめ

地下水

- 今回の事業で金龍井戸の水位は最大1.975m低下したが、5時間程度で回復した。

地盤環境

- 今回の事業実施4ヶ月後で、地盤沈下は認められなかった。

本事業は、環境省「平成18年度クールシティ推進事業[地下湧水等活用型]「地下水を活用した地表面散水の効果検証及び地下水・地盤環境への影響評価検討事業」において、財団法人大阪府みどり公社と株式会社環境総合テクノスが実施したものである。