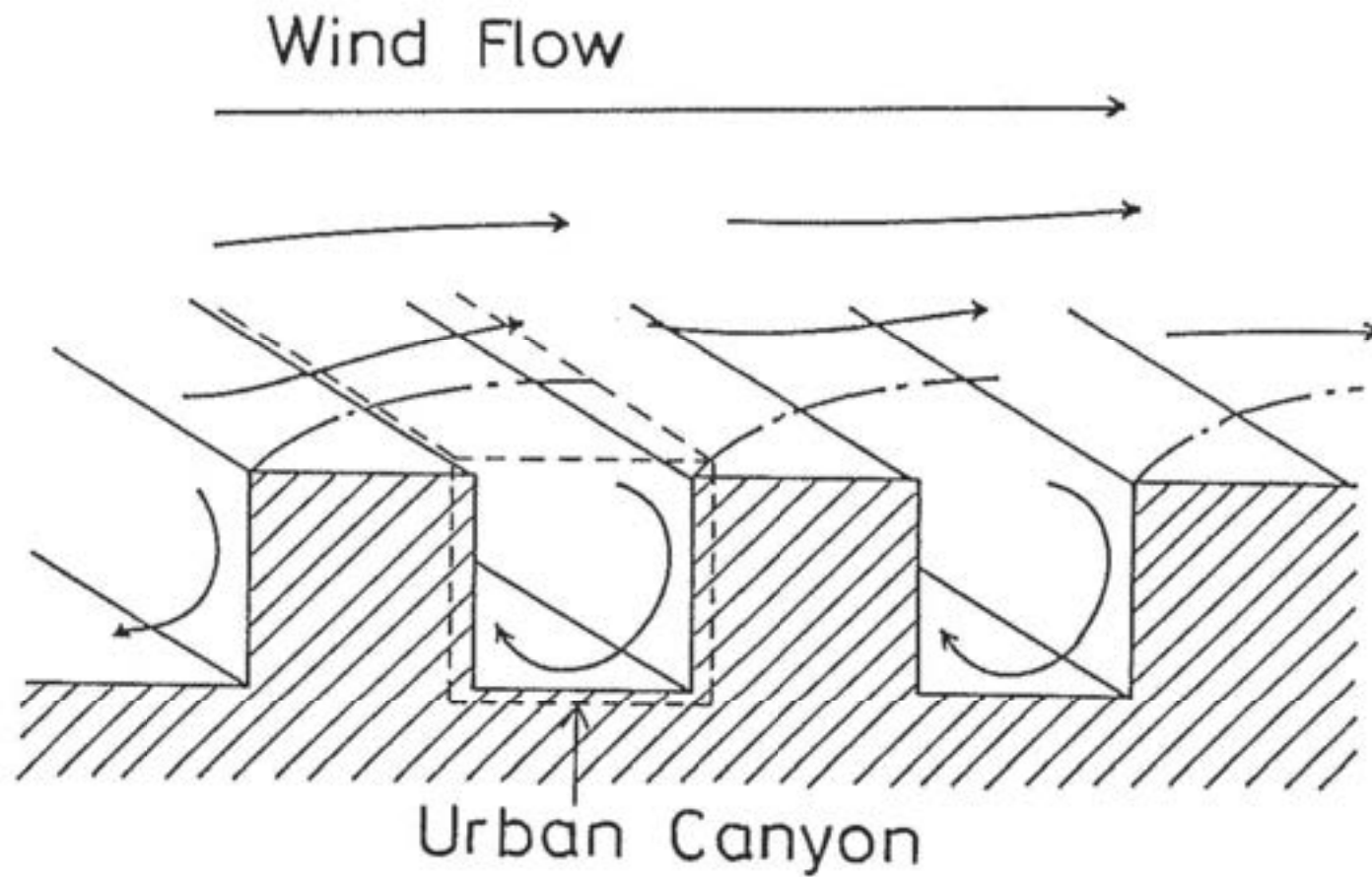


# 都市の熱環境を考える ～ 建物・外皮・人・植栽を対象として ～

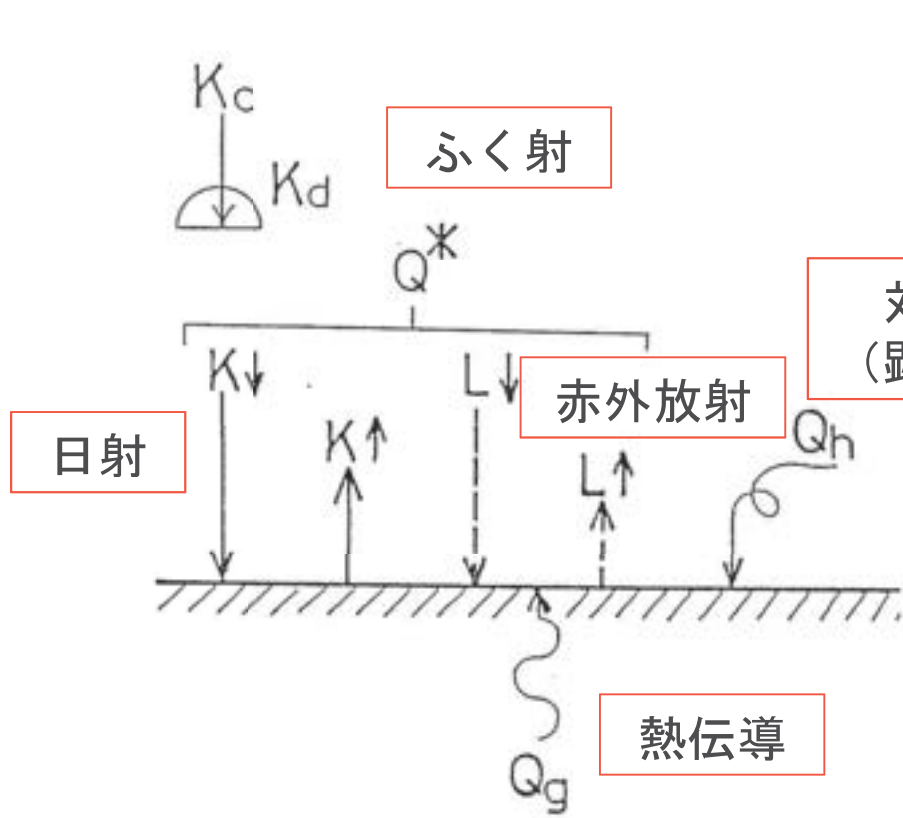
吉田篤正

大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアム 理事長  
大阪公立大学大学院 現代システム科学研究科 客員教授  
早稲田大学 理工学術院 教授

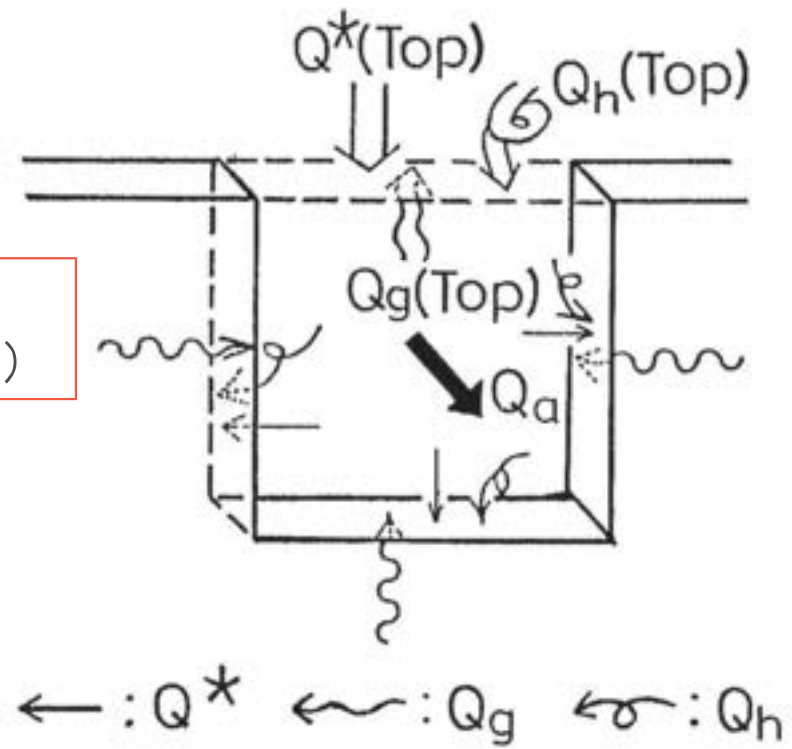
都市を構成する諸要素の熱的な振る舞いの一面を環境熱工学から語ります。都市空間の熱環境改善を目指して、空間を構成する建物、その表面材料（建物外皮）に関する熱輸送、熱物性について概説します。人体熱工学の観点から温冷感の評価に関しても論じます。併せて植栽に関しても環境制御に関わる内容に言及します。



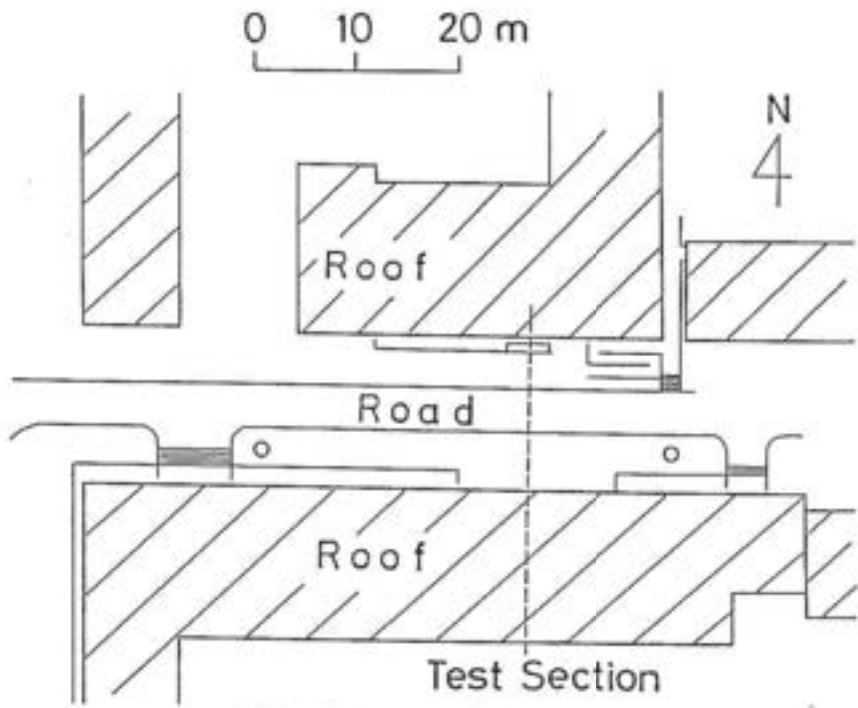
都市キャニオンの概念図



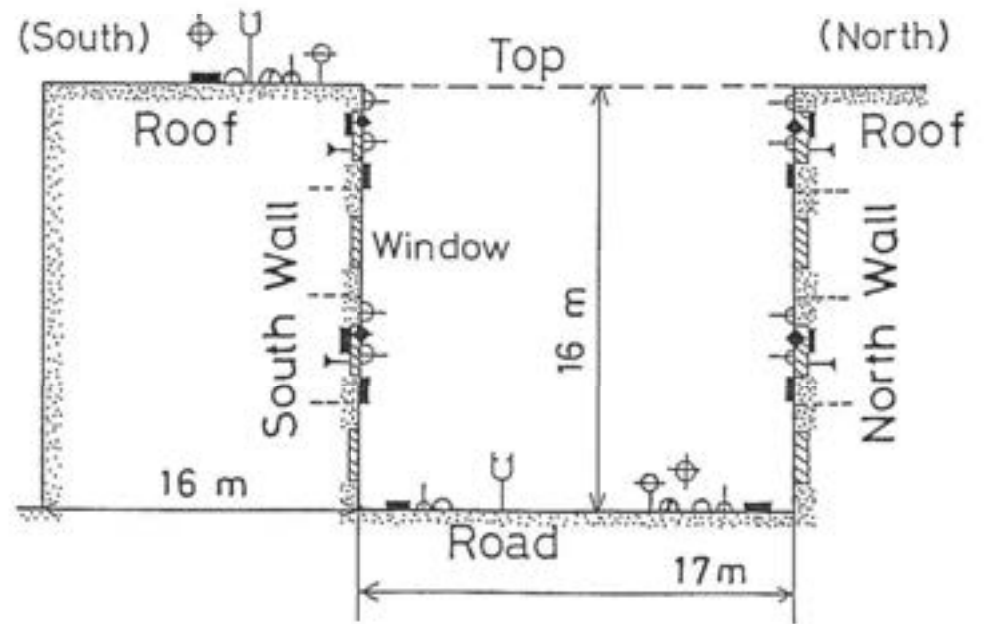
Roof面、Wall面およびRoad面  
における熱収支



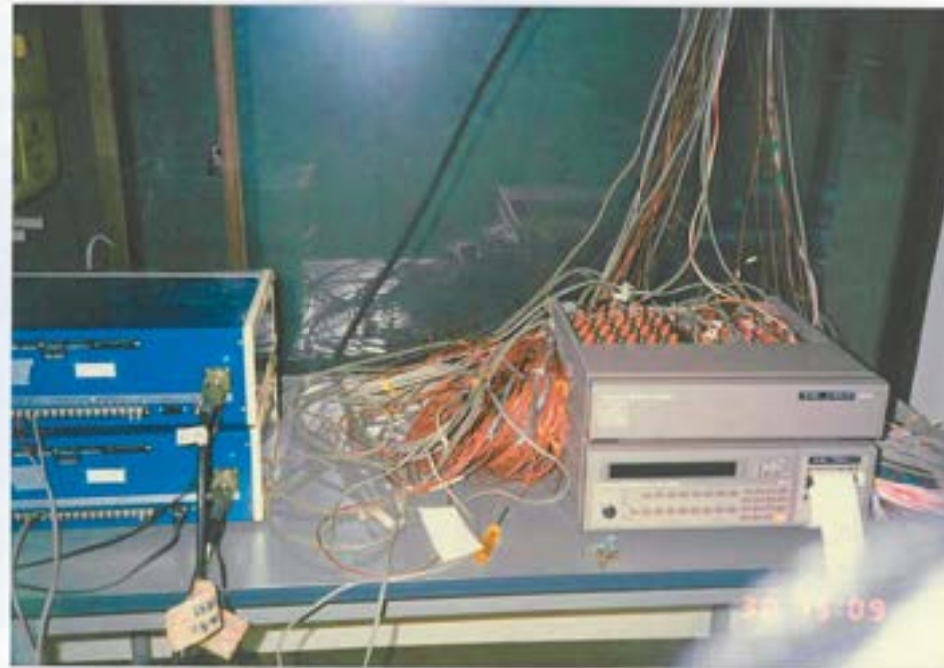
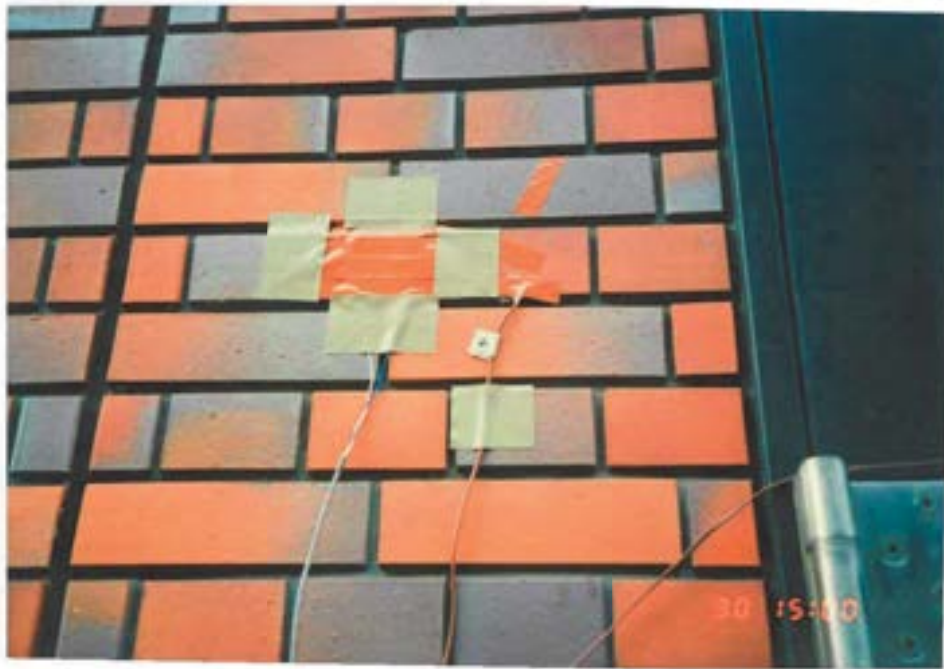
Top面における熱収支  
(都市キャニオン上面)

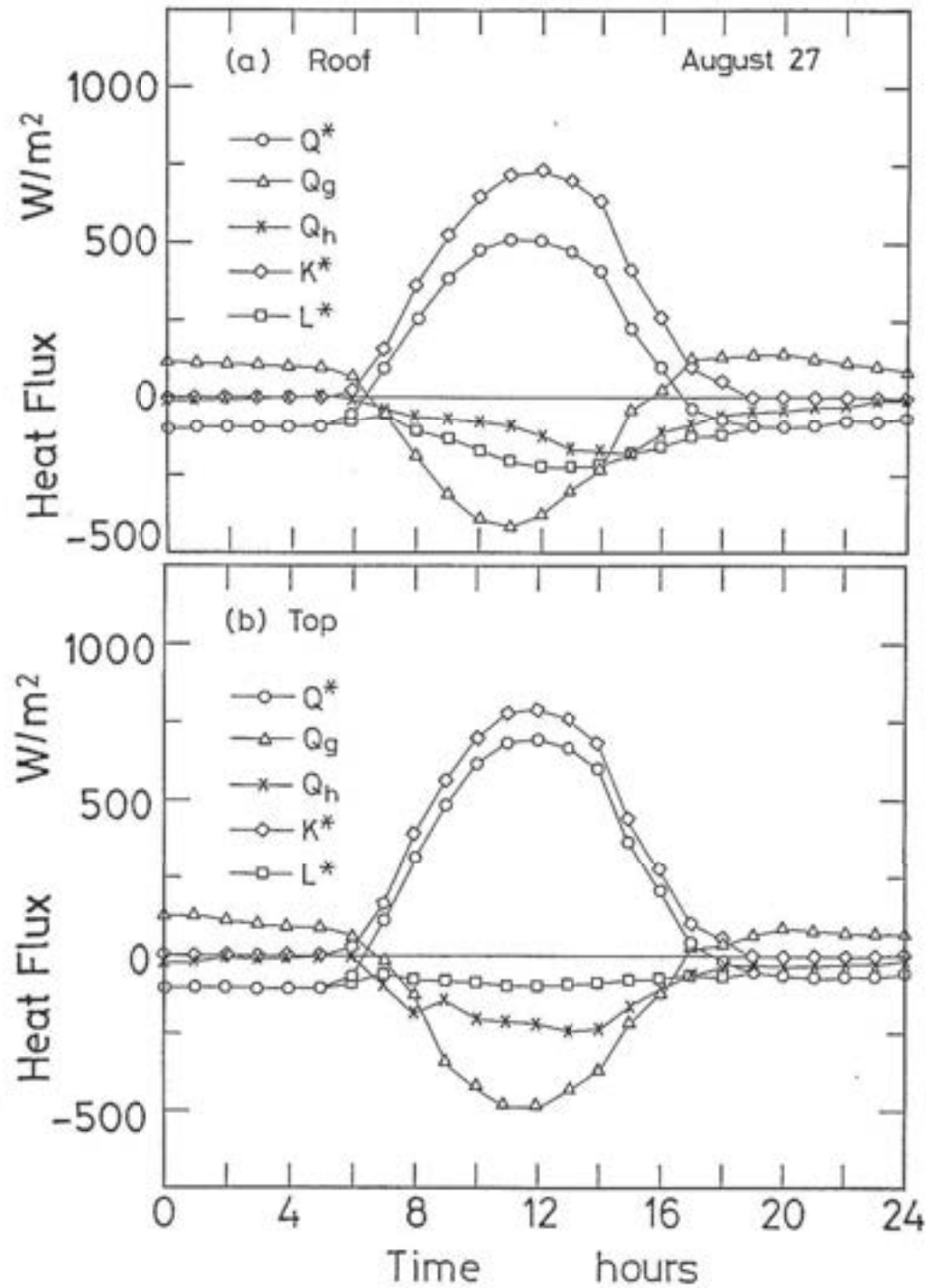


○ Air Temperature

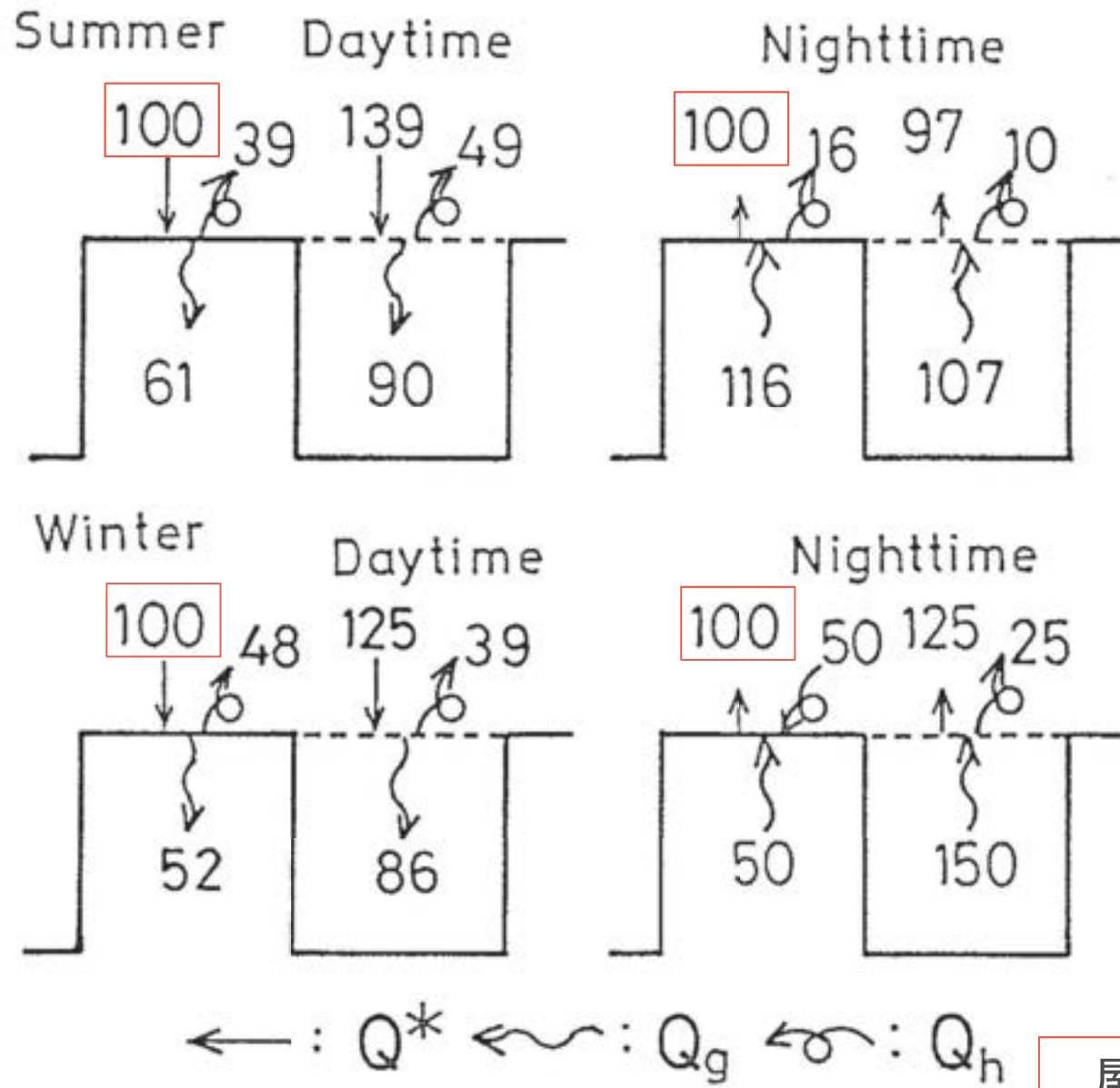


測定場所の断面図





Roof面とTop面における  
熱収支成分の日変化



屋上面の正味ふく射  
= 100とした相対値

測定を行った期間の日中と夜間にわたって平均した熱収支

- (1) 夏季の 1日にわたっての Top面における蓄熱を表す熱流束はRoof面におけるその 4倍以上多く、それはTop面に入射する正味のふく射流束の約50%であった。
- (2) 日中における正味のふく射流束および蓄熱を表す熱流束は、夏季、冬季のいずれの場合にもRoof面においてより Top面において大きかった。Roof面と Top面における対流熱流束に顕著な差はなかった。
- (3) 夜間のRoof面と Top面における熱収支の様式は、夏季にはほとんど同じであったが、冬季には大きな違いがあった。



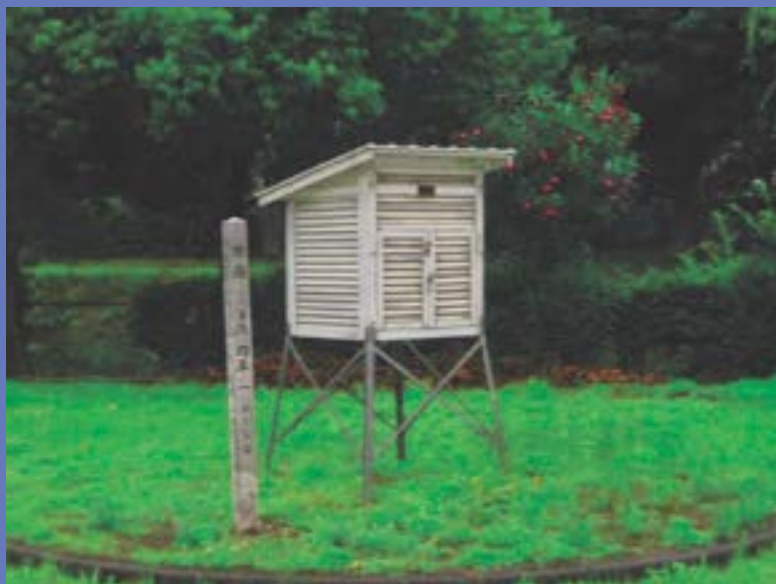
# 気温の定点測定

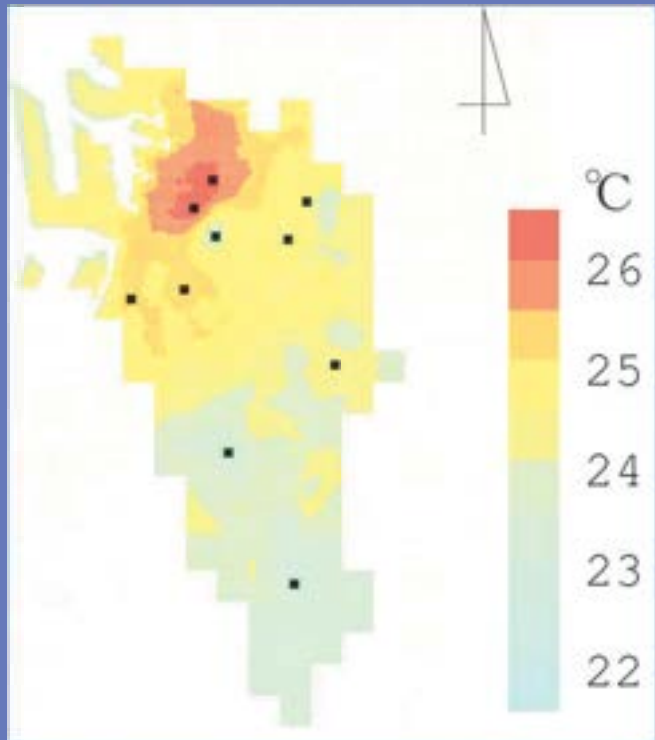
測定期間：夏期（7～9月）、冬期（12～2月）の過去2年間

測定方法：データロガーによる連続測定（10分間隔）

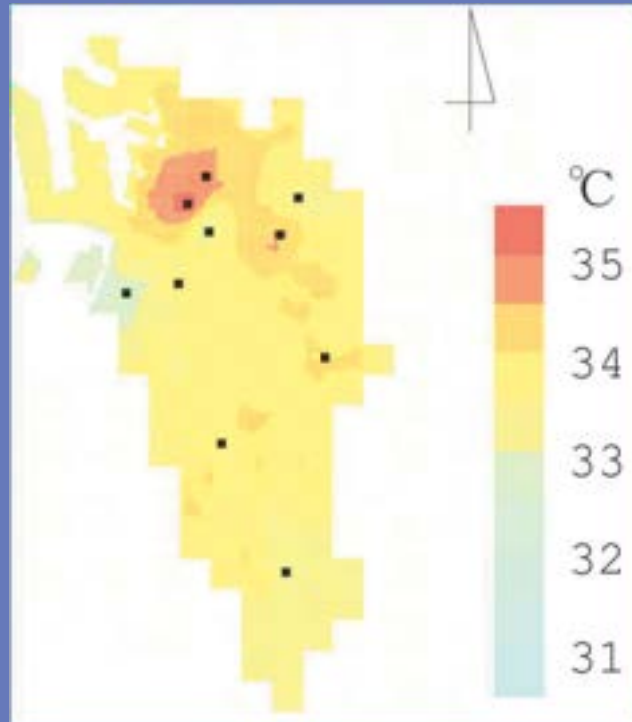
測定場所：小学校にある百葉箱の中に測定装置を設置  
堺10ヶ所、大阪6ヶ所、東大阪2ヶ所、枚方16ヶ所

解析条件：晴天日 1日の日照時間が全日照時間の  
70%以上ある日、堺のAMeDAS

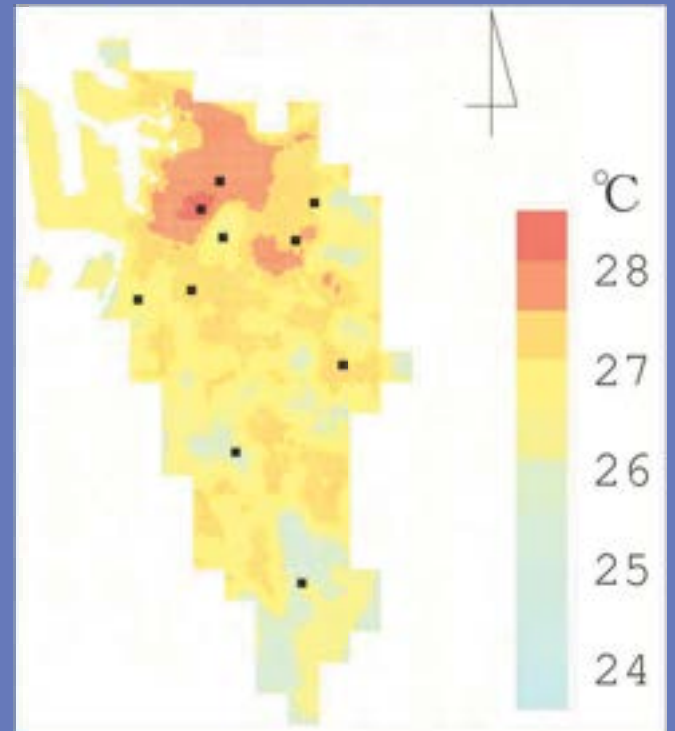




午前6時



午後2時



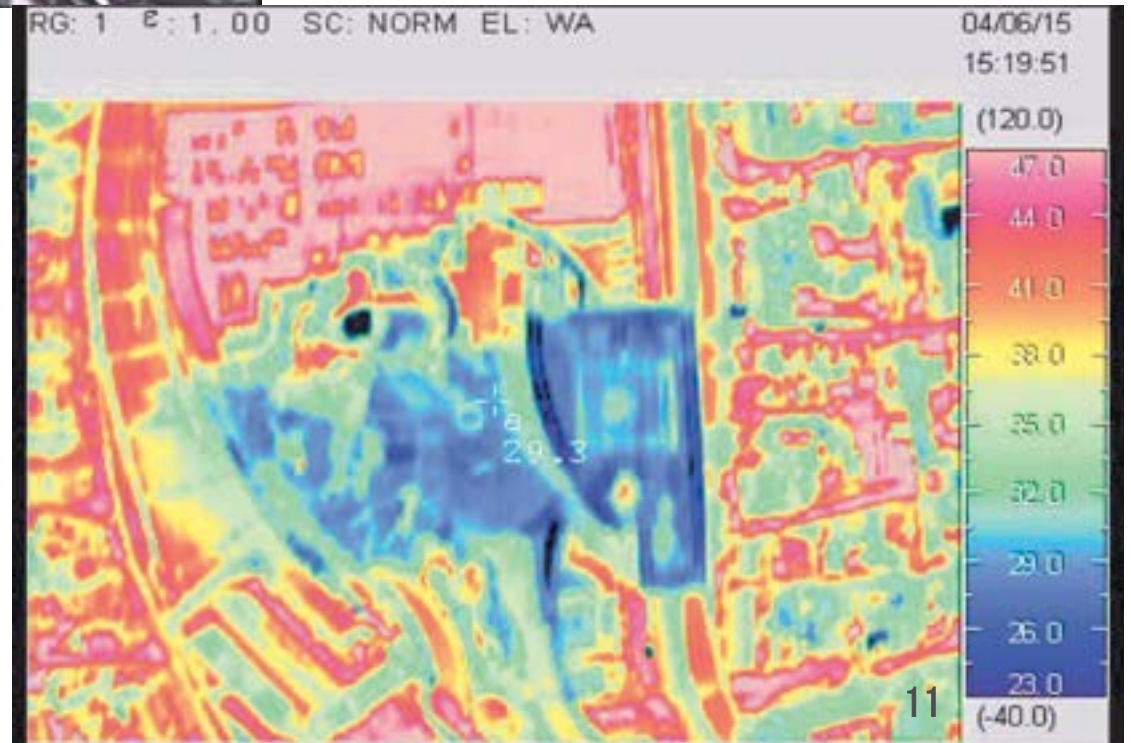
午後9時

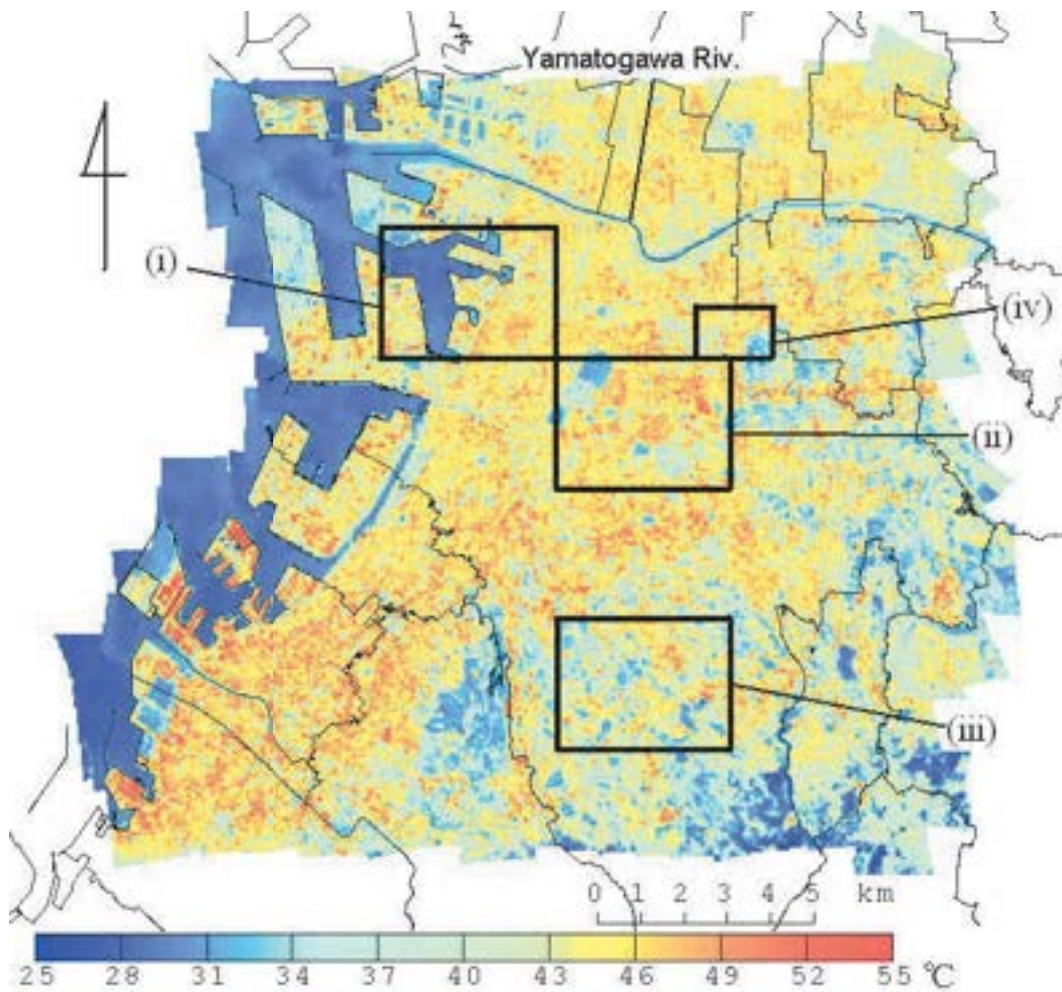
堺市の気温分布  
(夏季)



## 表面温度

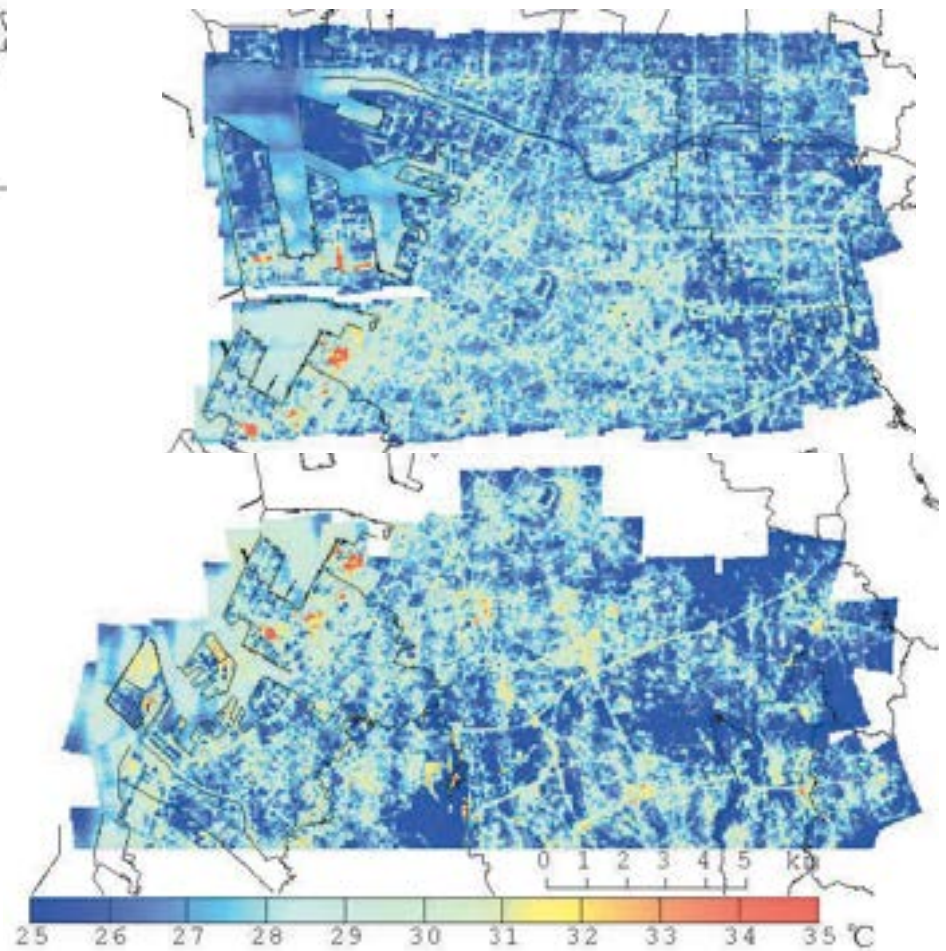
スカイマップ(株)  
資料



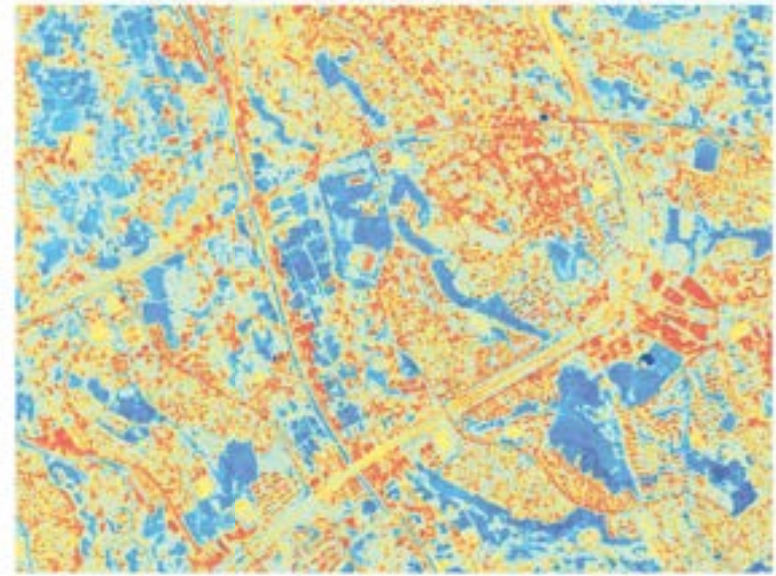
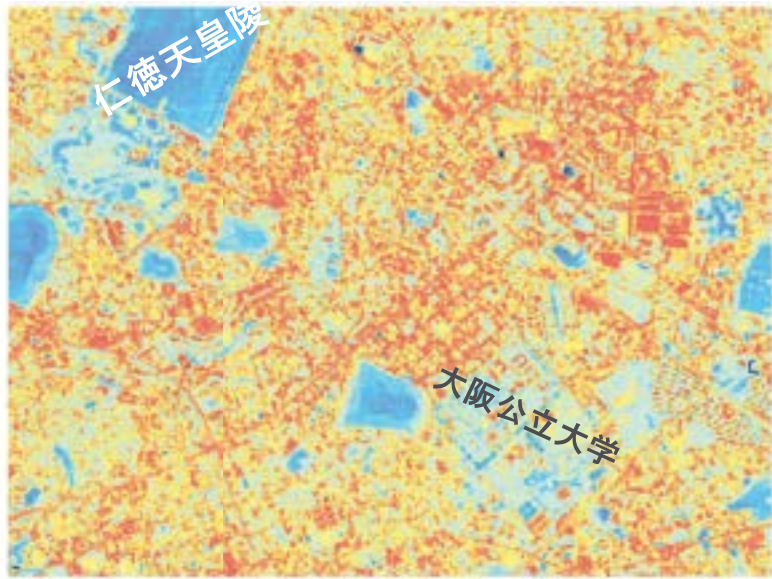


2006年8月2日14時

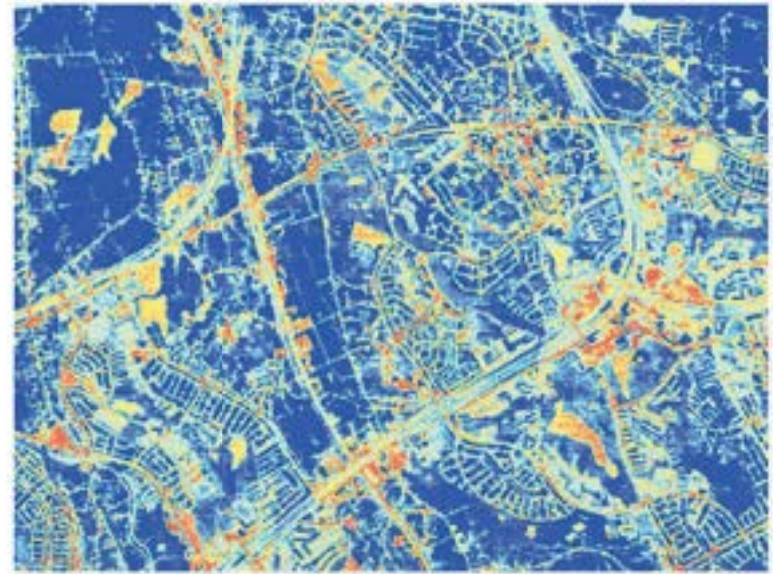
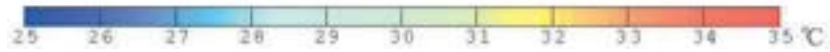
堺市の表面温度分布  
(夏季)



上:2006年8月4日, 下:同8月2日

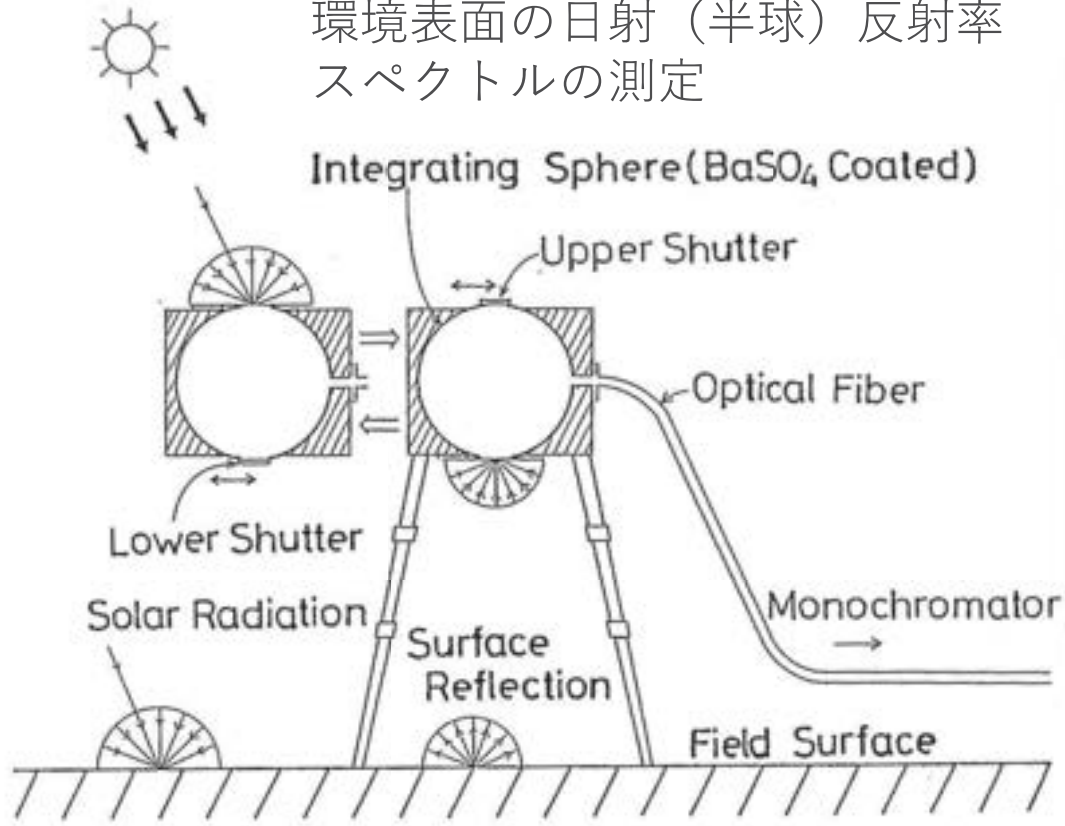


日中

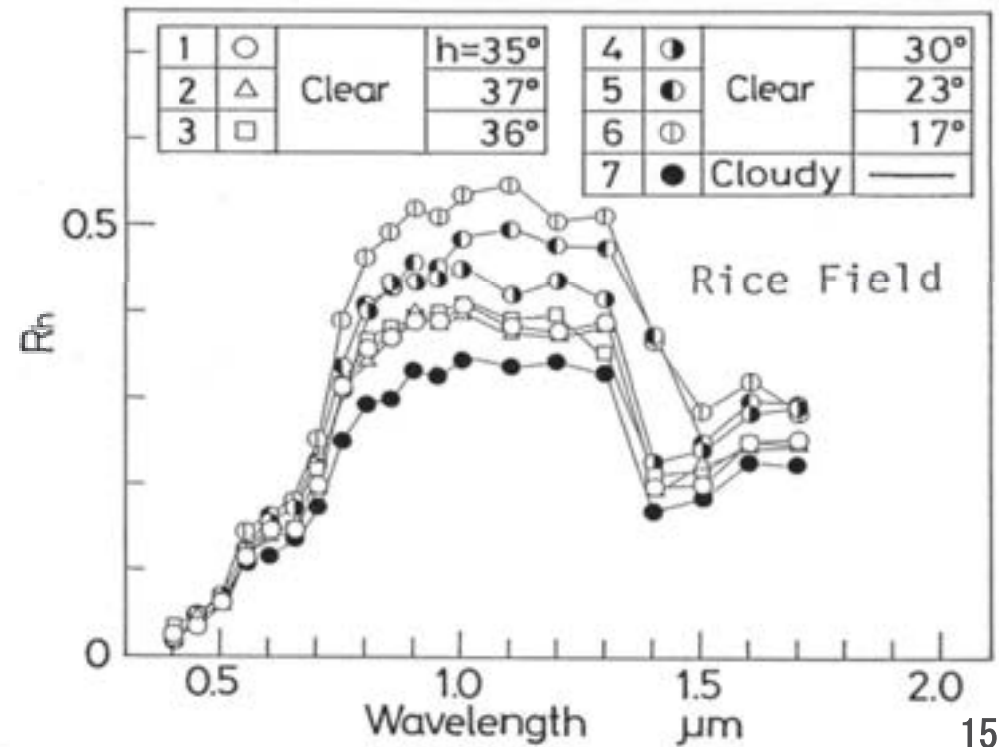
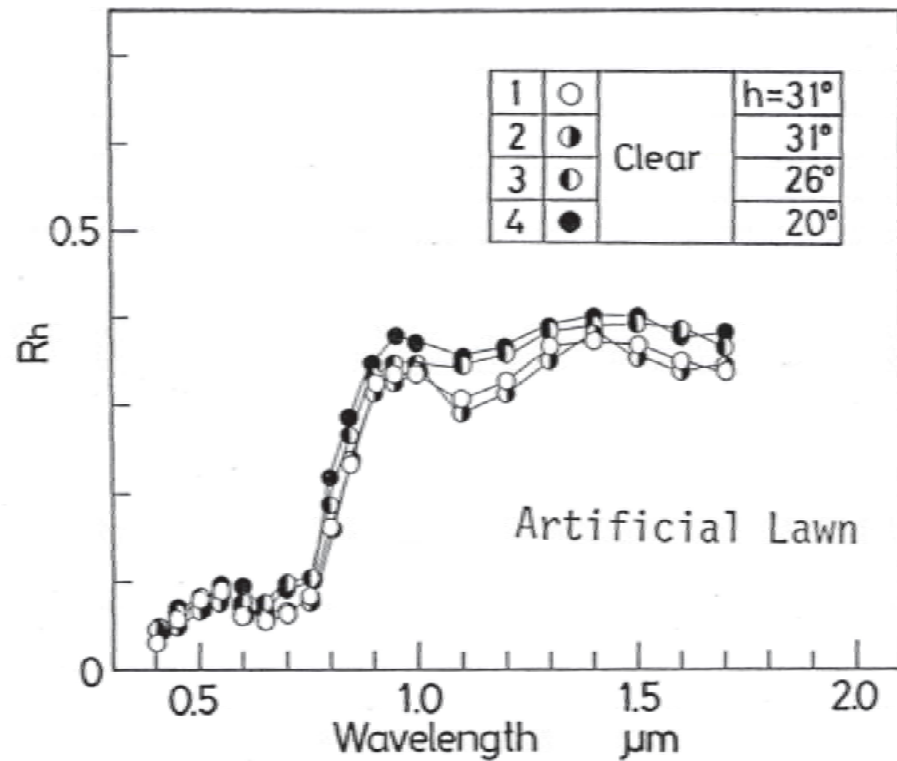
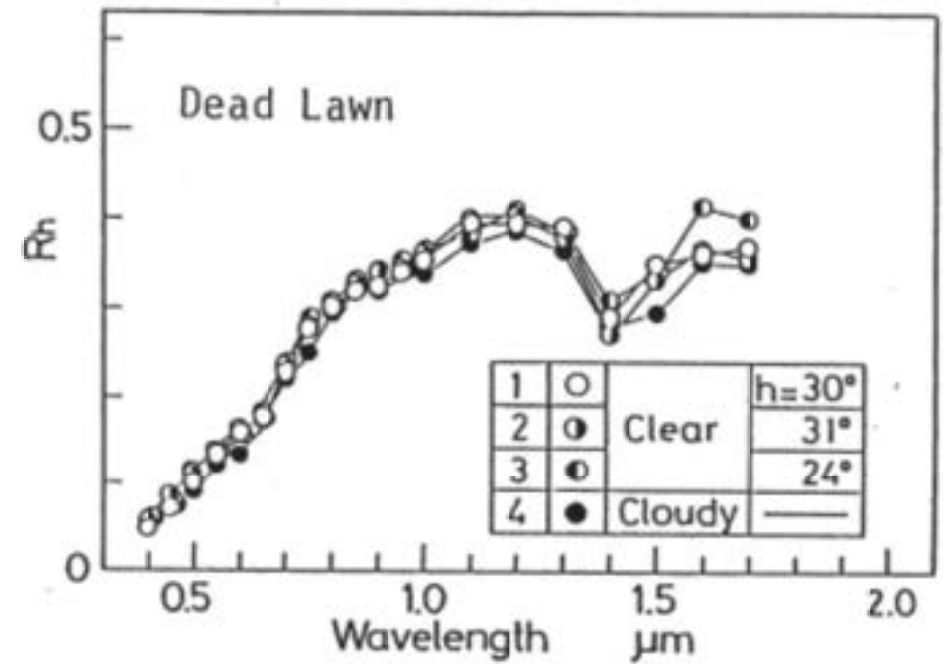
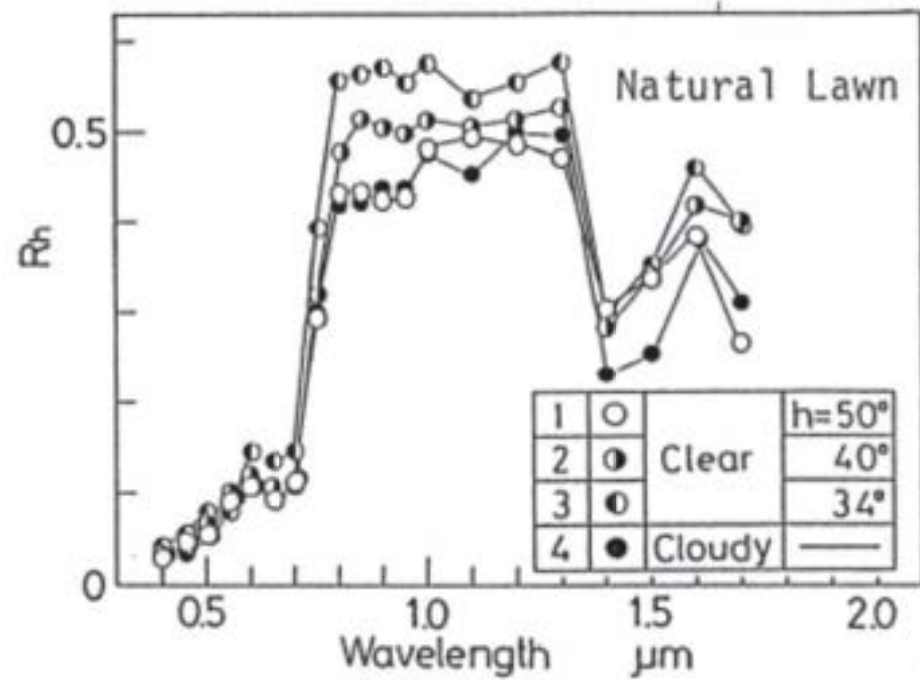


夜間

環境表面の日射（半球）反射率  
スペクトルの測定



旧西宮球場

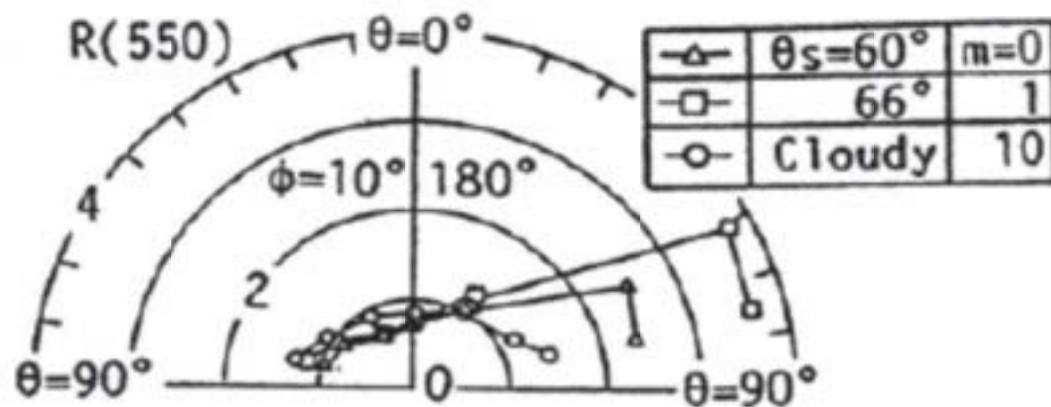




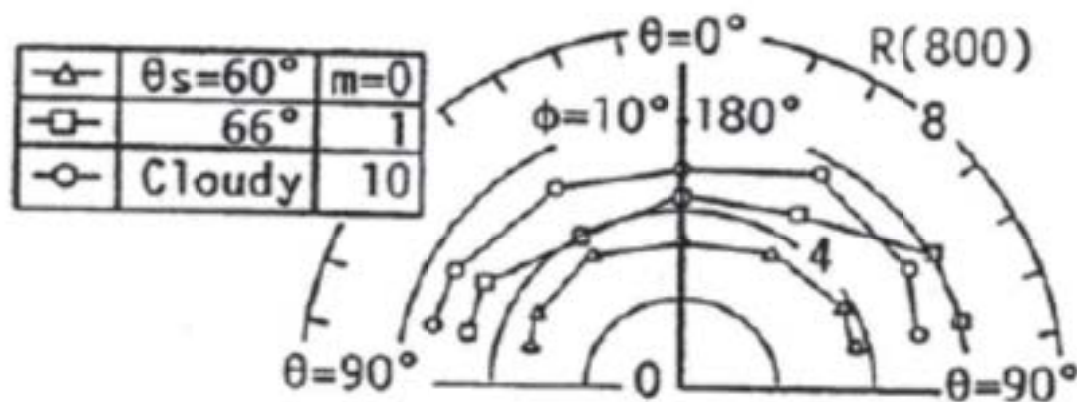
指向反射特性







(a) R(550)



(b) R(800)

図 3 楠の緑葉表面の指向反射指数の  
反射天頂角方向の分布

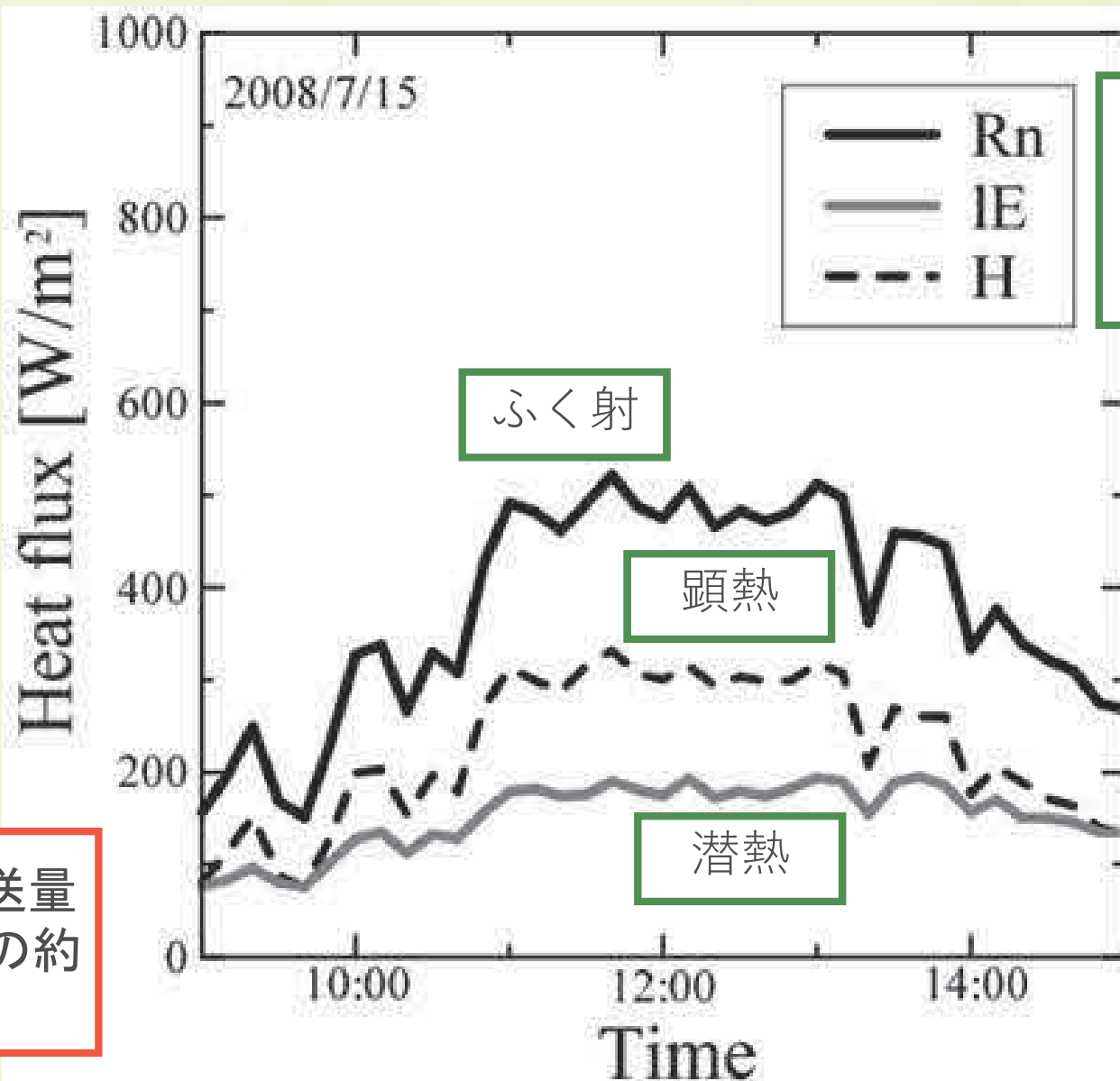
550 nm  
吸収が強い  
(葉緑素)

鏡面反射(表面)

800 nm  
吸収が弱い  
(細胞壁)

拡散反射(内部)

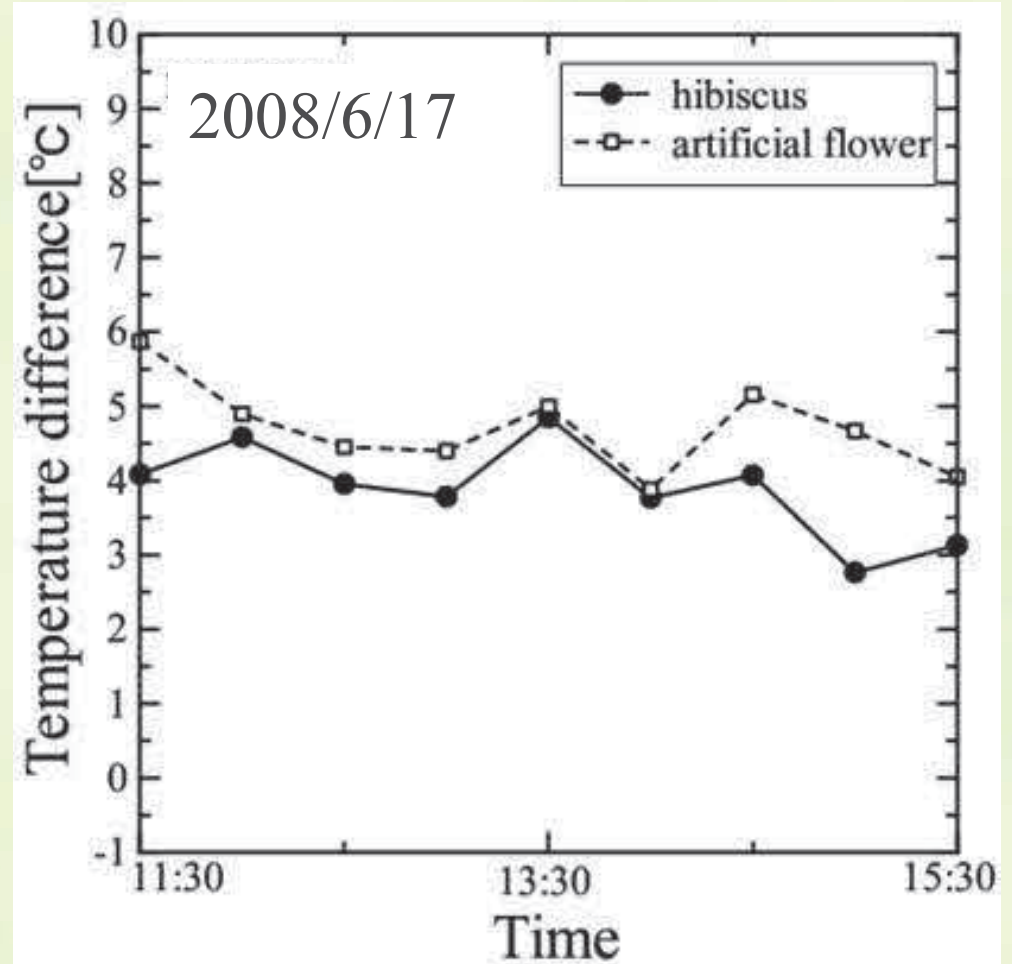
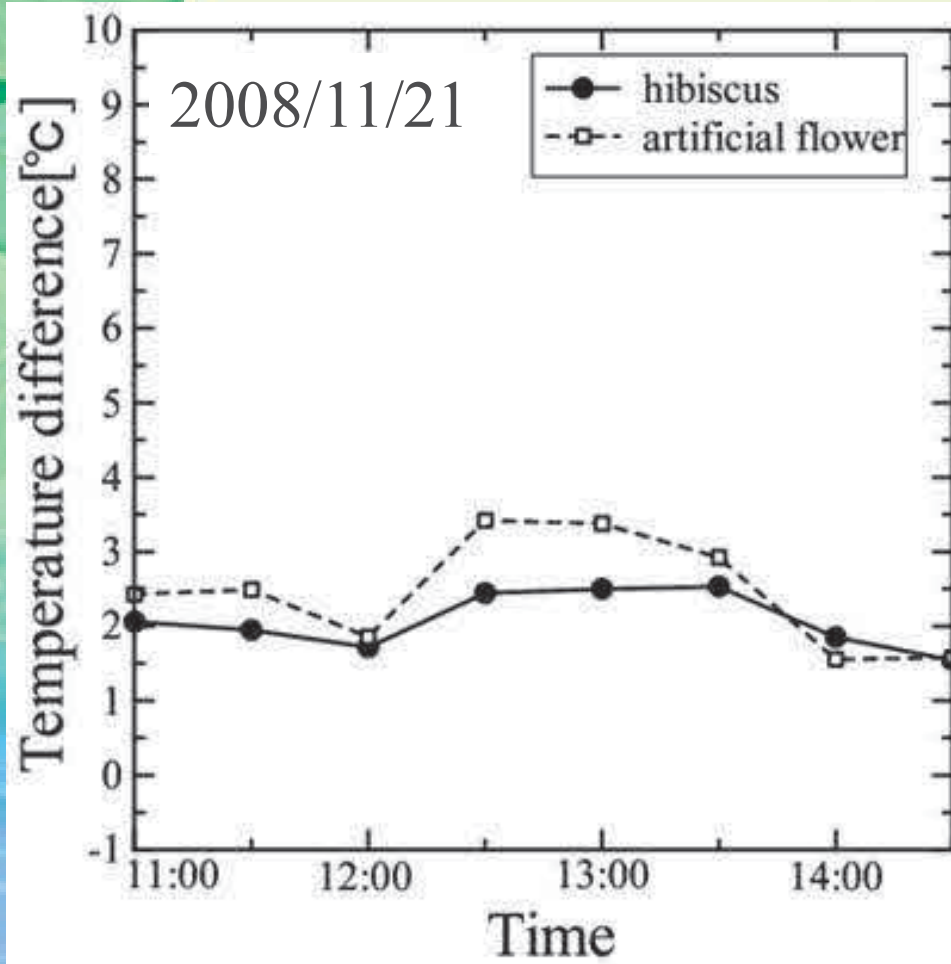
# 単木(クスノキ)の熱収支



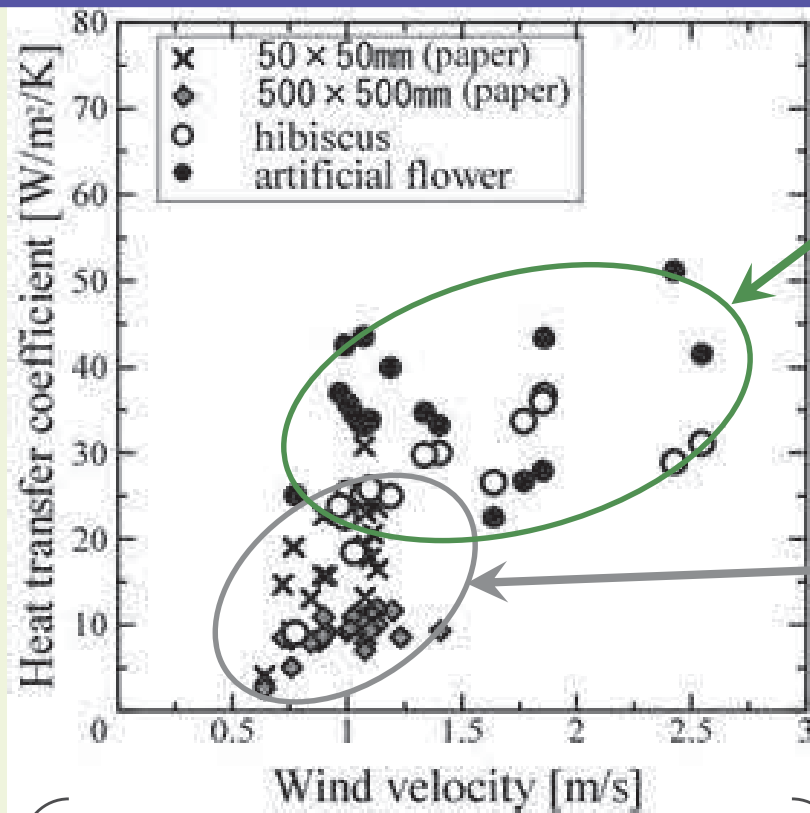
・日中の潜熱輸送量は正味ふく射量の約3.5～5割

2008年7月15日のクスノキの熱収支 (9:00～15:00まで10分毎)

# 葉温と気温の差 (30分平均)



# 熱伝達率の測定結果（屋外）



## ハイビスカス・造花の熱伝達率

・ 十分大きな平板の熱伝達率に比べ大きい。

## 模造紙の熱伝達率

- ・ サイズ大<サイズ小
- ・ 最も小さいサイズ模造紙 ≒ ハイビスカス
- ・ 大きいサイズの熱伝達率はハイビスカスの半分程度

- ・ 30分平均値
- ・ 風速：模造紙およびハイビスカス・造花の周辺、高さ1m
- ・ 葉温と気温の差1～5°C程度

葉面熱伝達率が大きい主な原因の1つは、**葉のサイズ**である

# 寒冷地における既存のRC建造物に 木製外装を施した時の断熱性能の長期評価

## 木材利用の意義

- ・ 熱伝導率の低さによる断熱性能の高さ
- ・ 木材の需要が高まることで森林の増加  
→自然環境の保全・地球温暖化の抑制

壁	熱伝導率 [W/(m·K)]
木材	0.081
空気層	0.026
ポリスチレンフォーム	0.037
RC	2.3

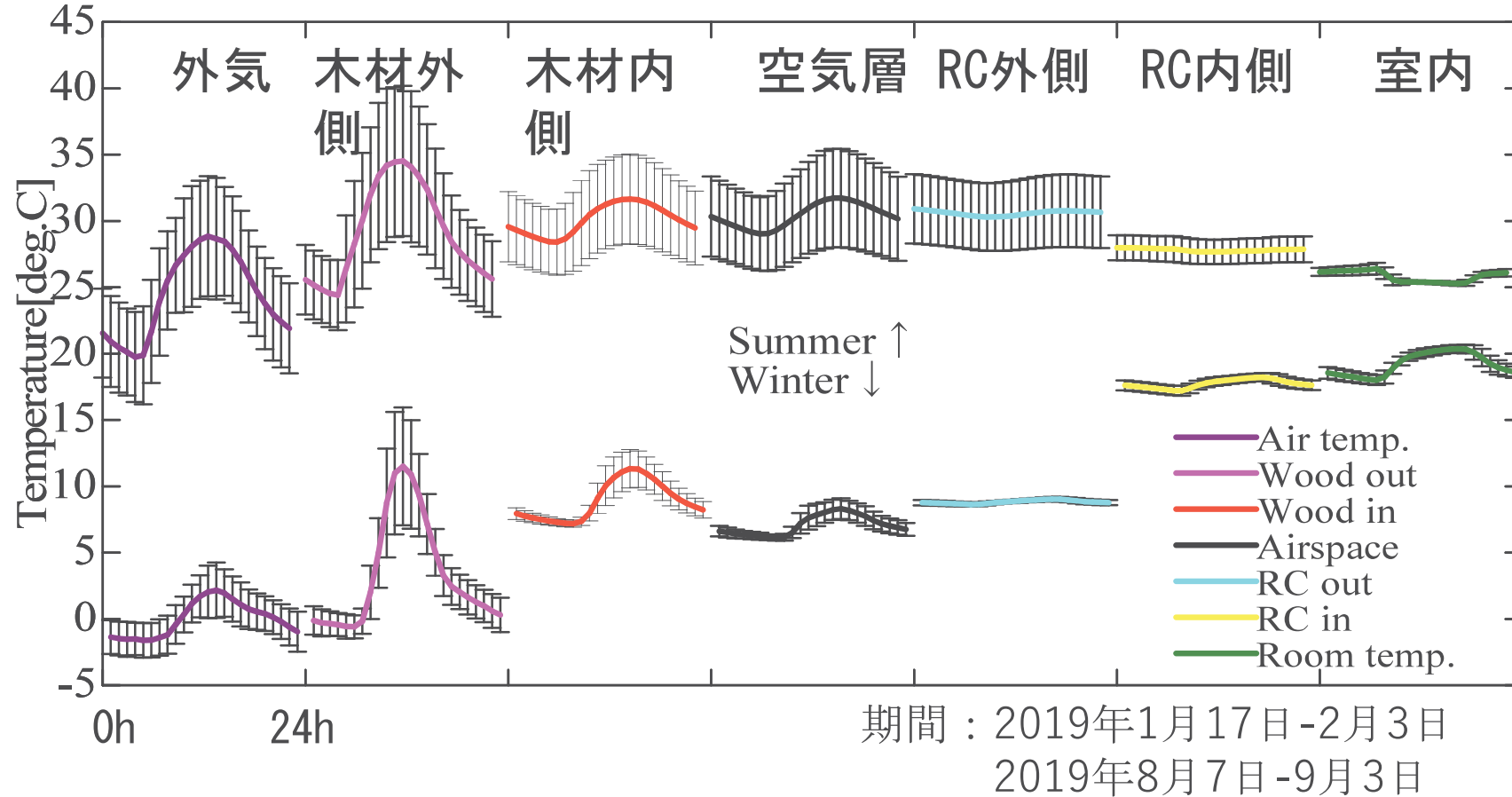
## 社会的な取り組み

- ・ 改正建築物省エネ法(2019)  
→ZEH(ネットゼロエネルギーハウス)の促進
- ・ 公共物建築物等における木材の利用の促進に関する法律(2010)  
公共建築物における木材の利用の促進に関する基本方針(2017)



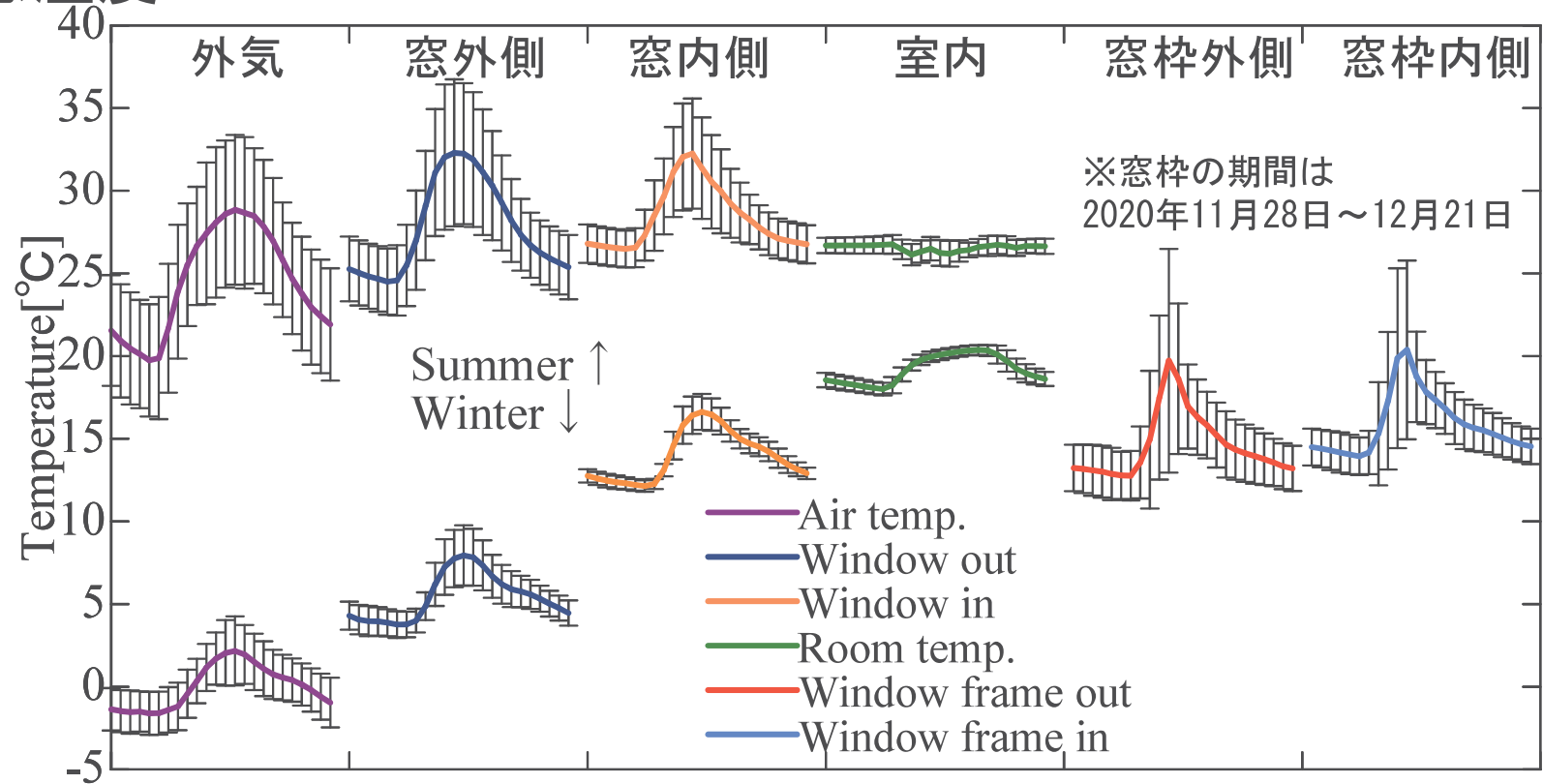
山形県米沢市市立米沢図書館

# 壁温度



・ 外→内につれて日変化，標準偏差の減少

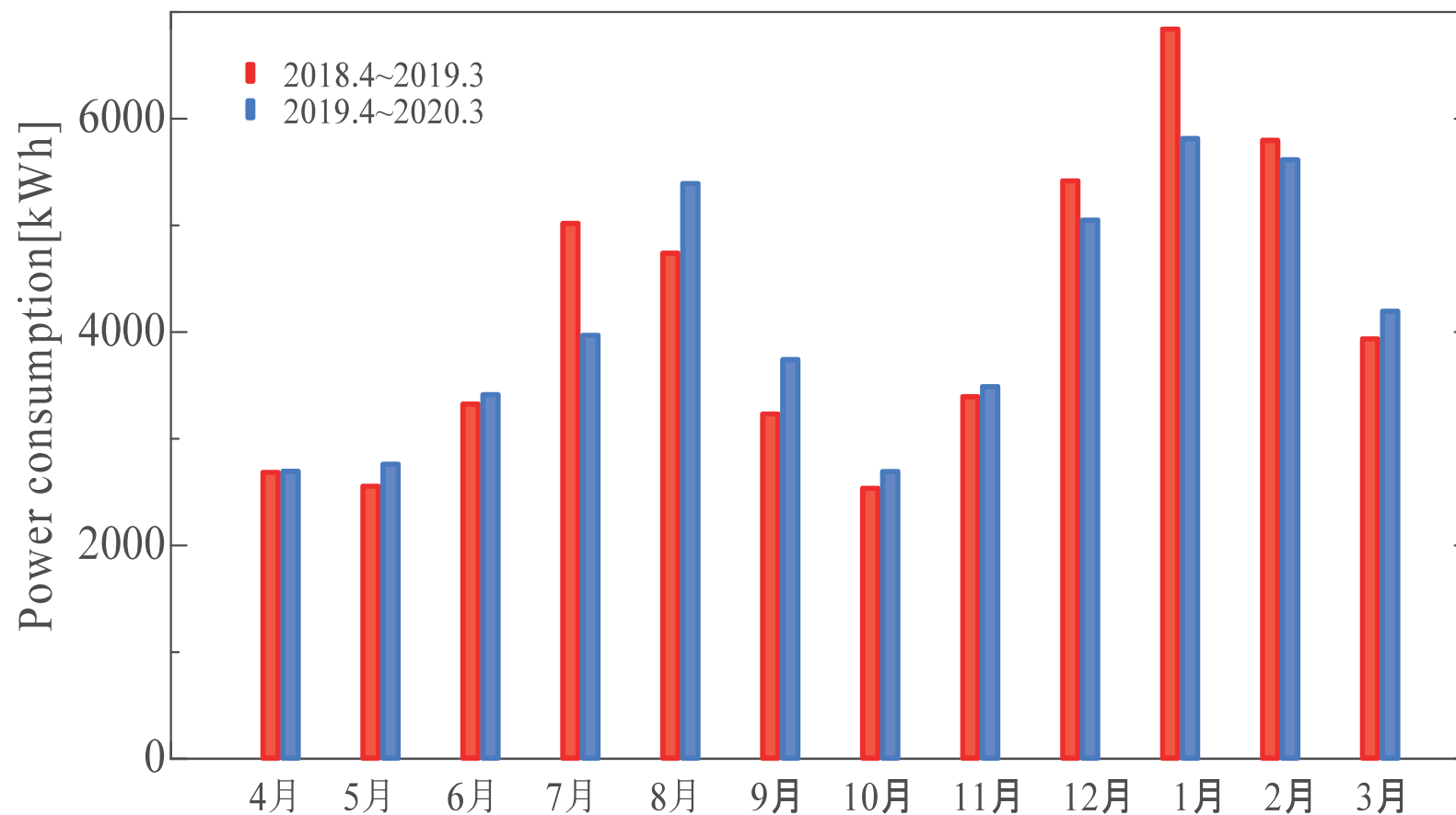
# 窓温度



期間：2019年1月17日-2月3日  
2019年8月7日-9月3日



# 消費電力



- ・ 夏季と冬季にピーク
- ・ 2020年冬季は2019年冬季より小さい

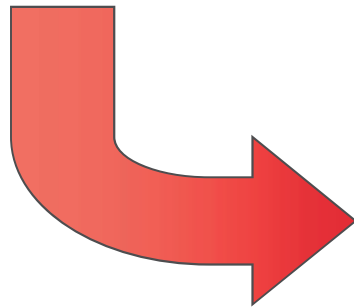


# 海風による冷却

-係留気球による観測と数値シミュレーション-

# 研究背景

ヒートアイランド現象



- ・暑熱化
- ・排熱増加
- ・熱中症



## 対策

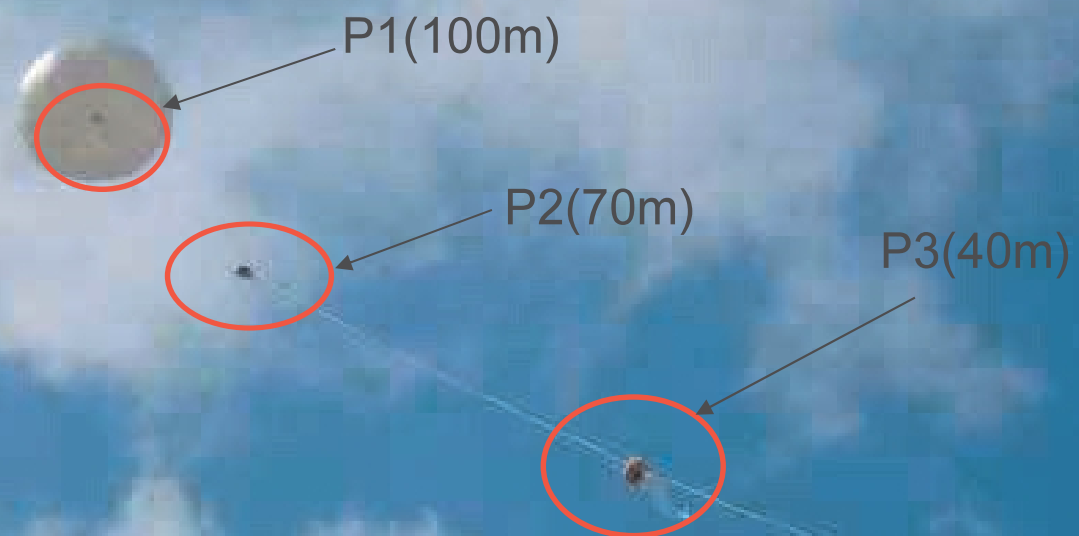
海風の有効利用・・・風の道の誘導

? どの程度有効か ?

## 研究目的

大阪平野南部における海風進入に伴う温度や湿度変化を明らかにし、海風の冷却作用を見積もる

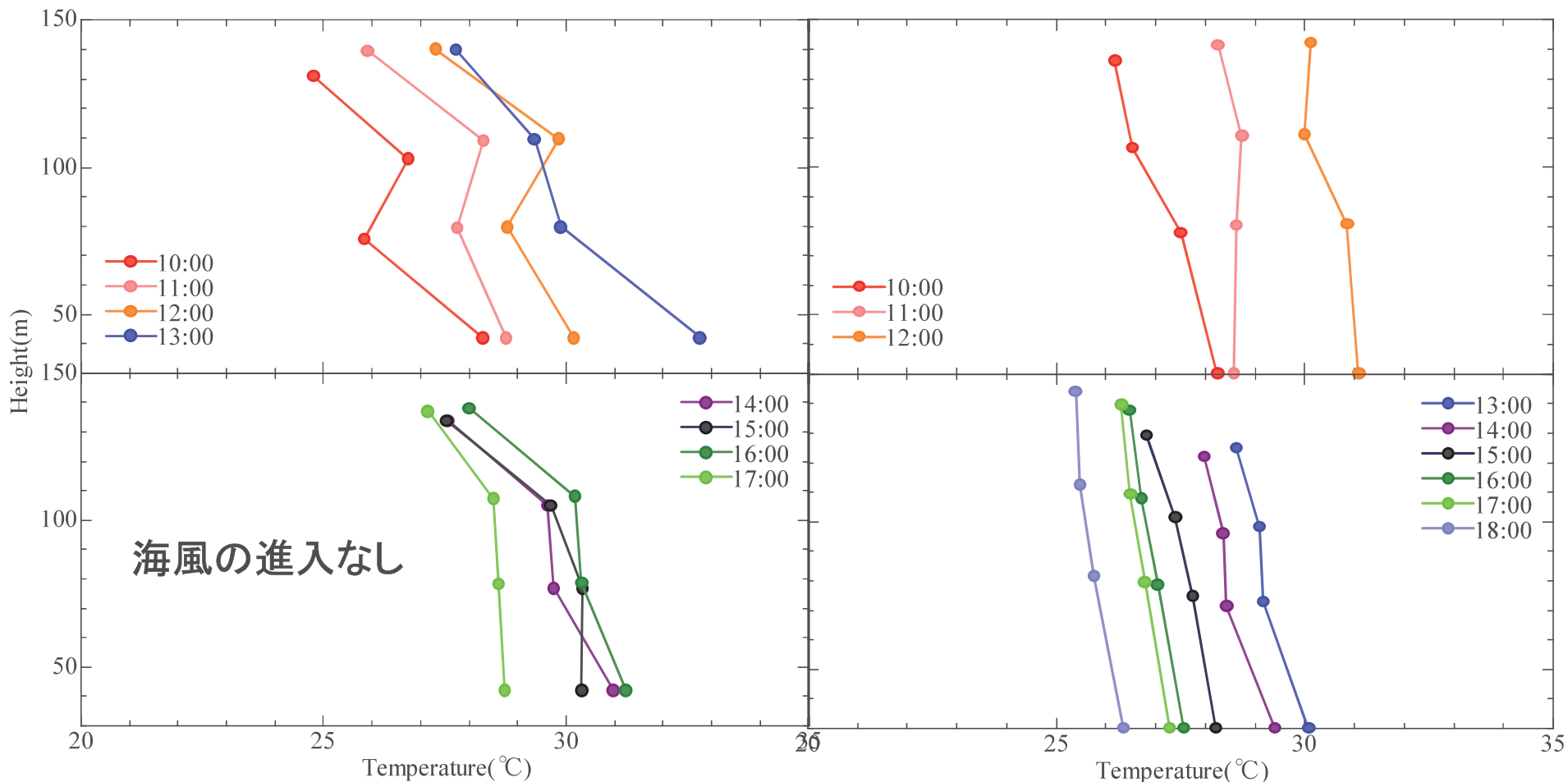
( )内は係留位置からのロープの長さ



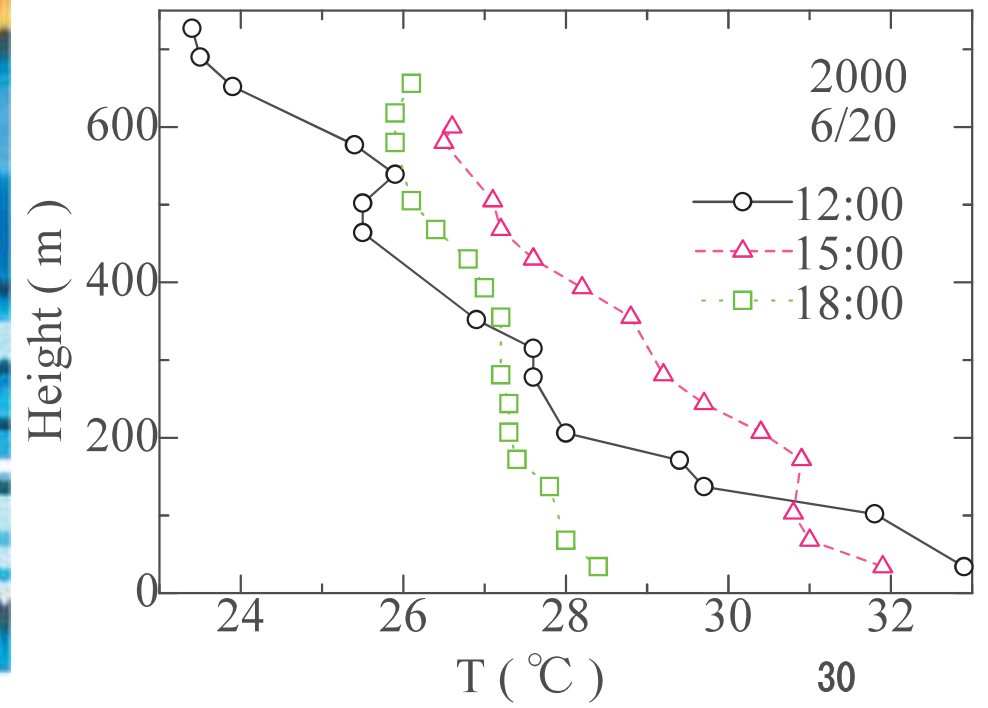
# 9月26日と27日の温度鉛直プロファイルの比較

26日

27日

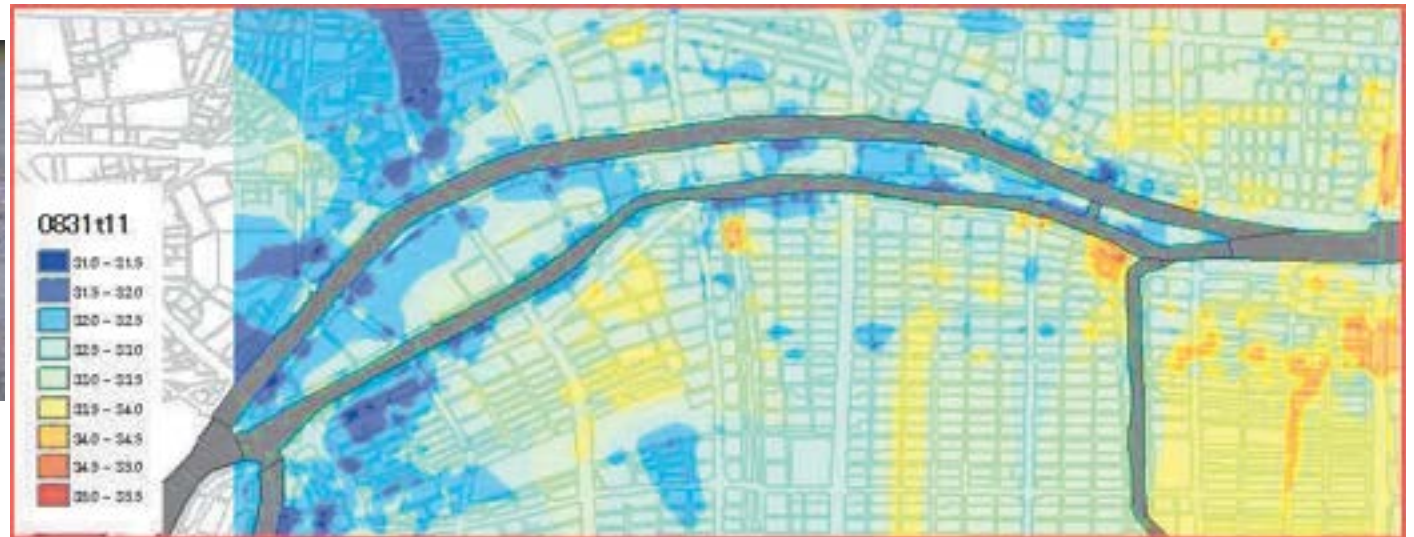
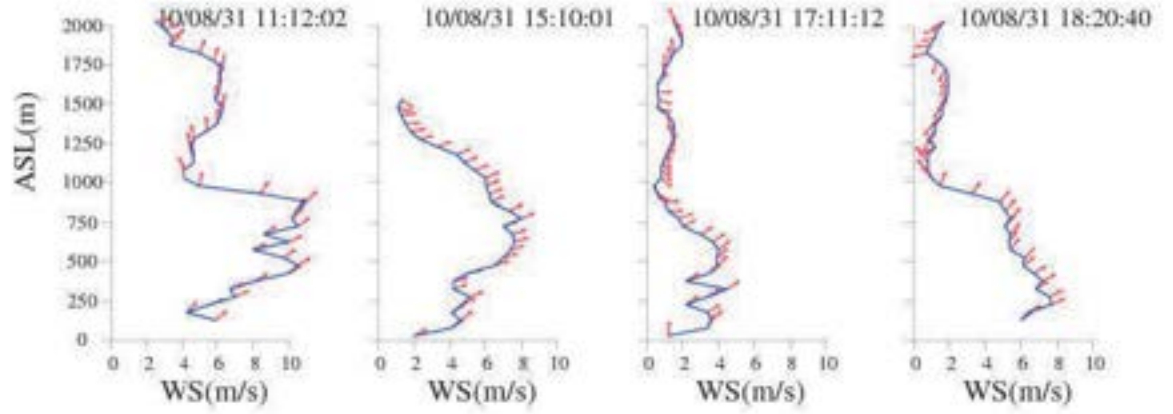


13時以降に海風の進入あり  
27日の方が気温の下がり方大

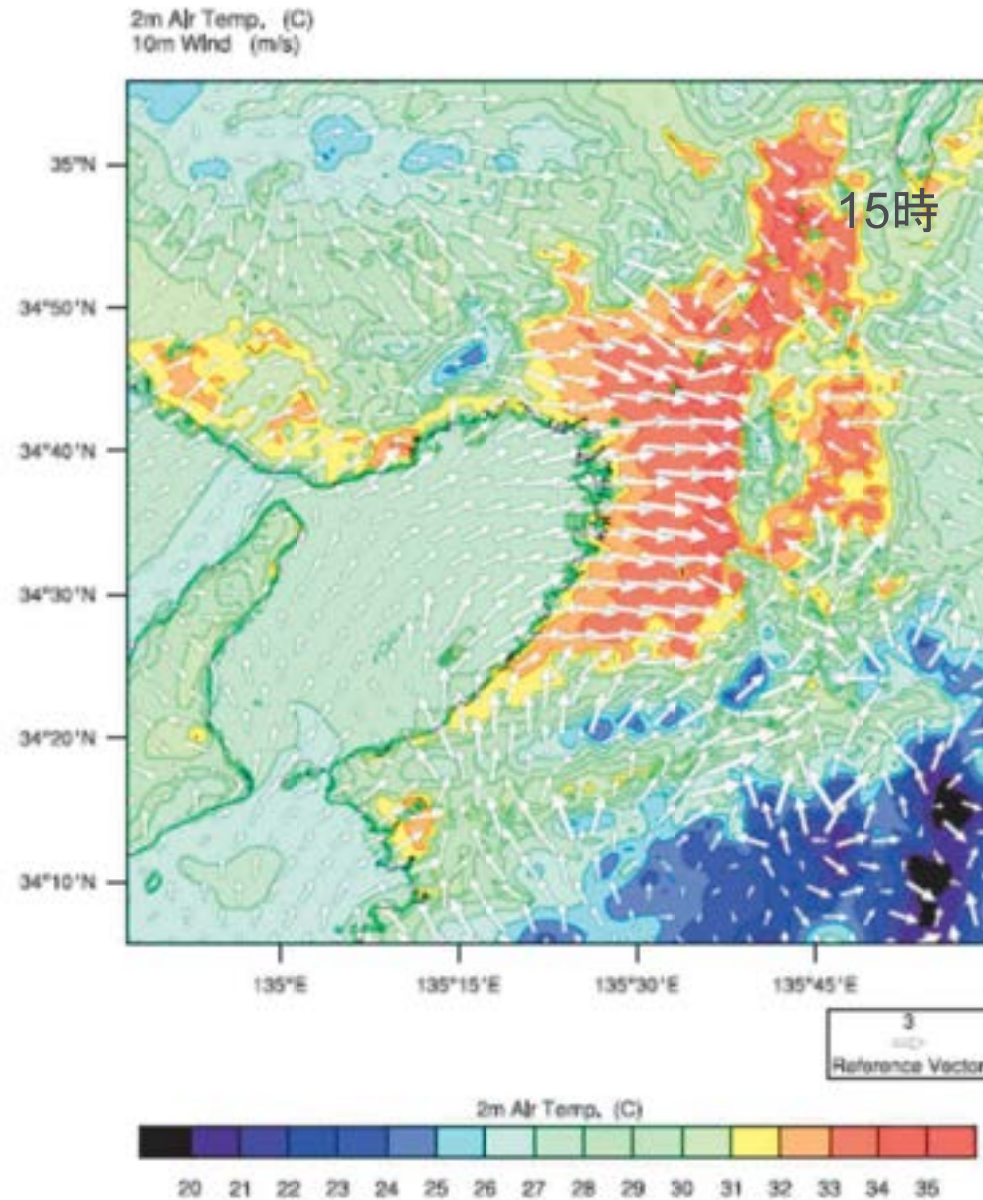




パイロットバルーン

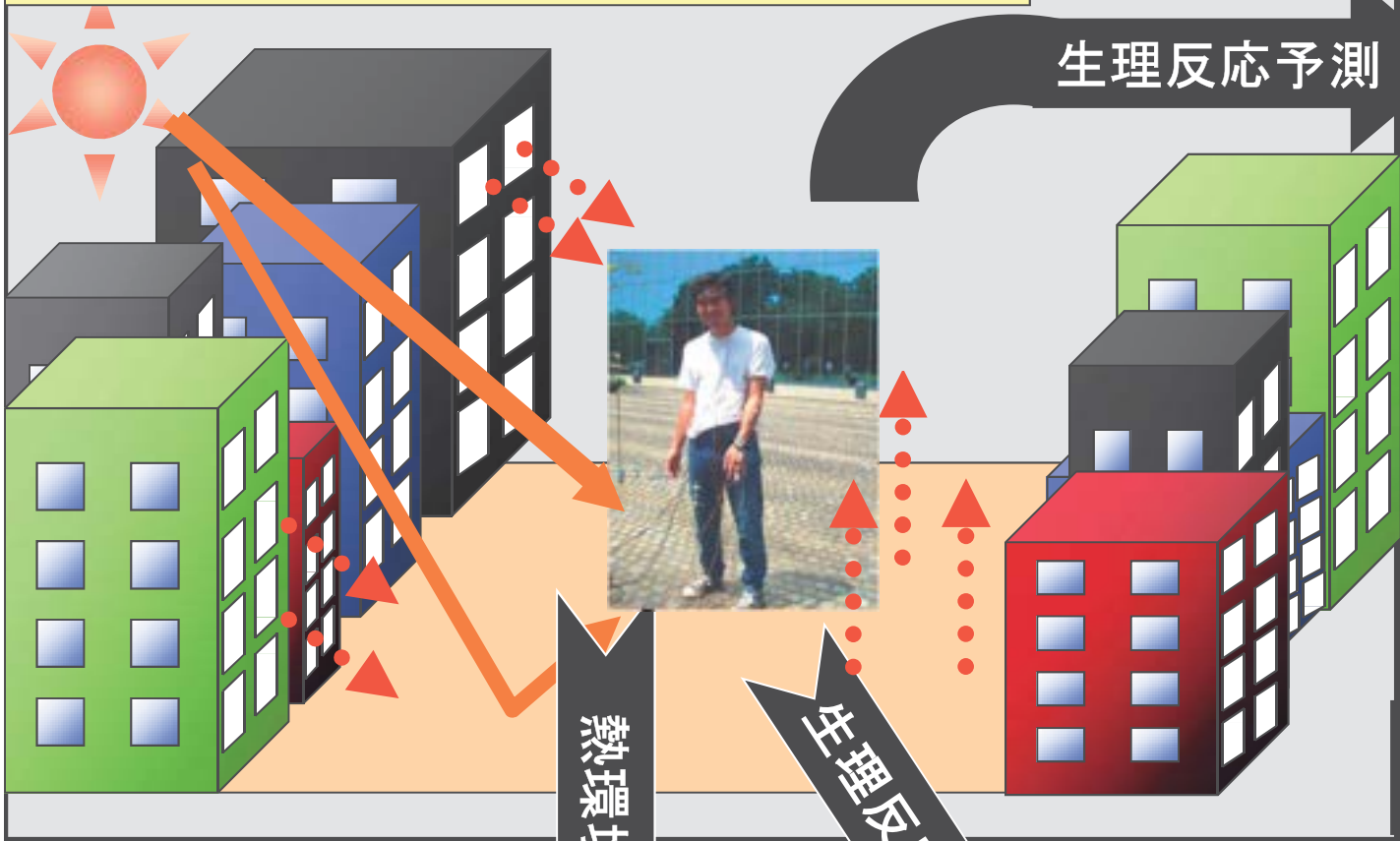


風の様子・・・紀伊山地・紀伊水道から吹く風と合流  
気温の様子・・・大阪平野の海岸部で気温が低下

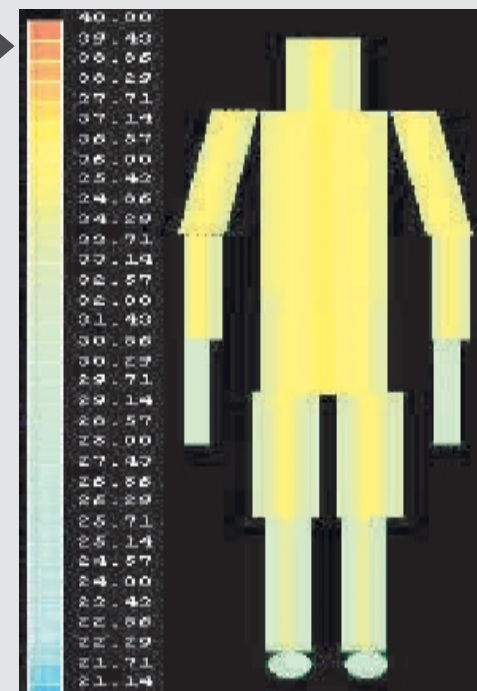




# 【都市環境における体感温度】



# 【数値計算】



生体内熱移動モデルによる体温分布予測

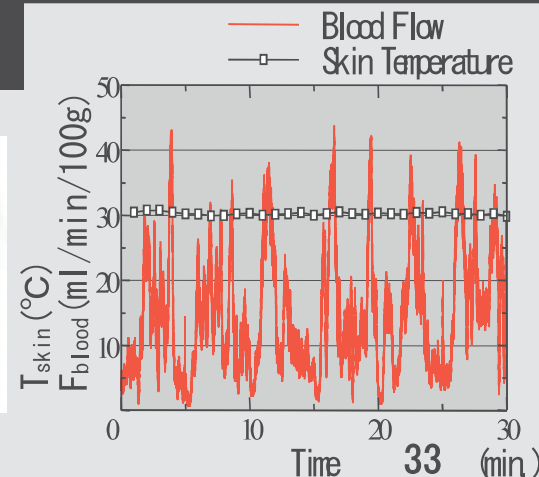
# 【環境要因測定】



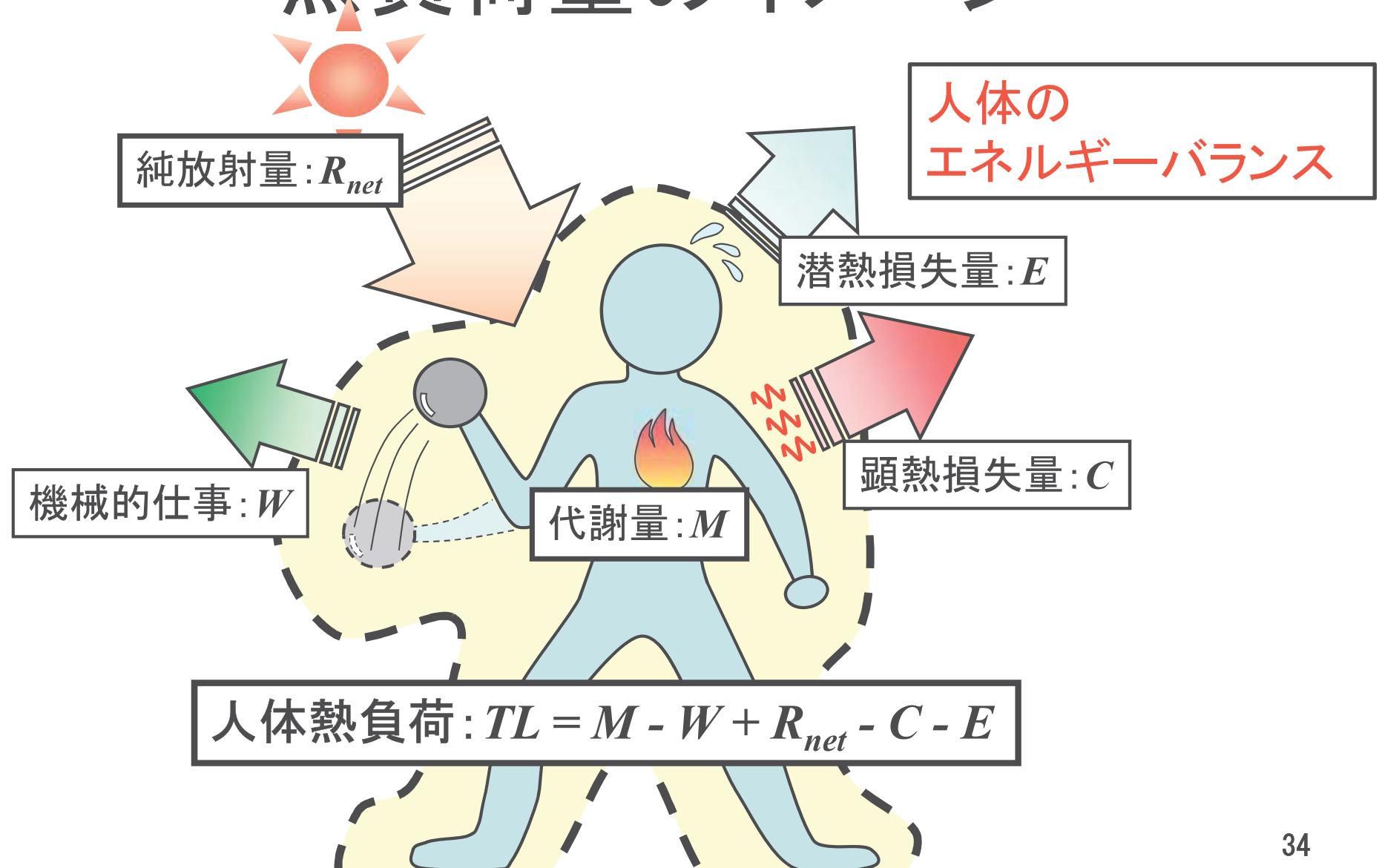
熱環境測定



# 【血流測定】

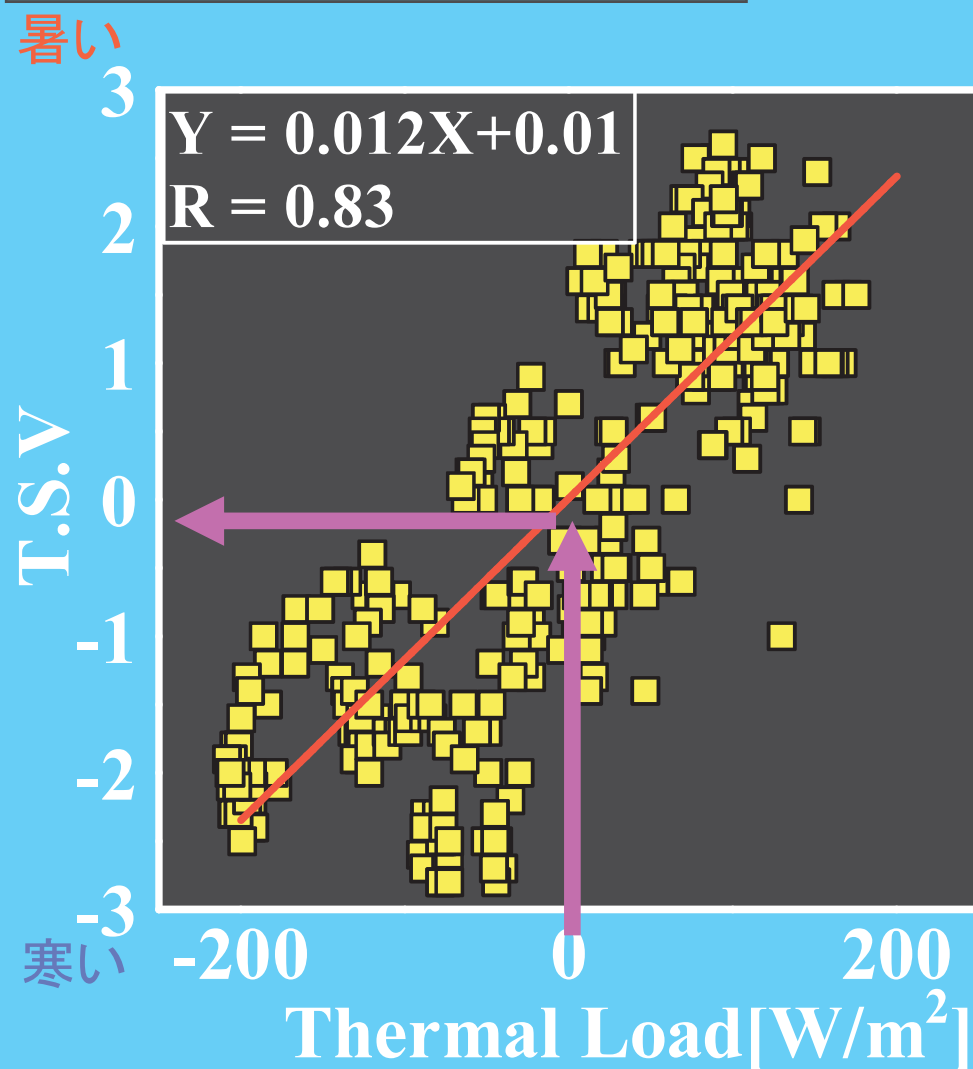


# 熱負荷量のイメージ



# 温冷感予測指標の提案

## 熱負荷量と温冷感



✓ 相関係数  $R=0.83$  ( $N=400$ )

✓ 熱負荷量がゼロ  $\Rightarrow$  中立



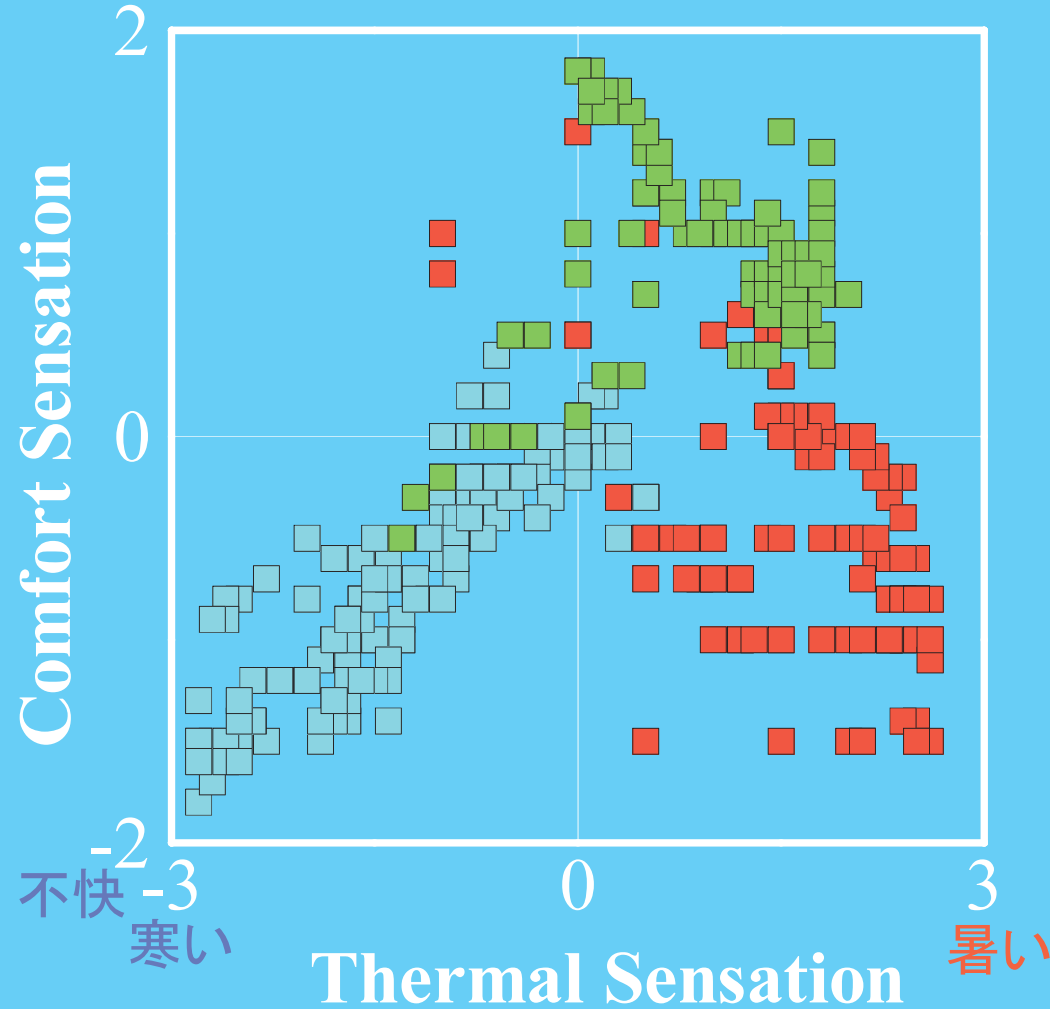
一年を通じて熱負荷量で  
温冷感を予測可能

$$T.S.V. = 0.012T.L + 0.01$$

# 実験結果

## 温冷感と快適感

快適



■秋期は温冷感が中立で快適側の申告が多い

■夏期は涼しい側の申告で快適申告が見られる

■冬期は快適申告が少ない



快適と感じる温冷感に季節差



フィールド測定



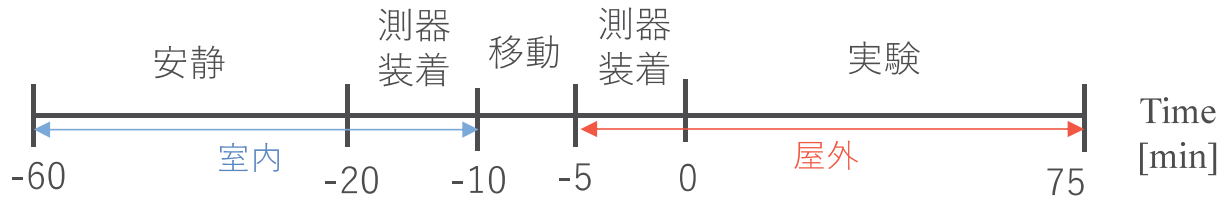
# 日陰形成による熱ストレス低減

## 実験方法

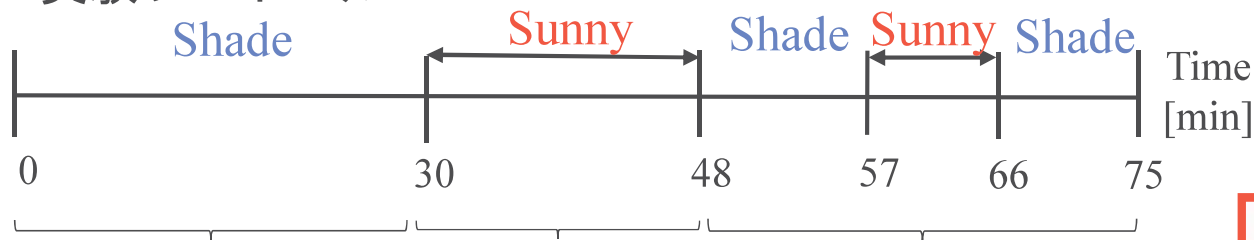
ふく射変化：日向 ↔ 日陰

安静環境(室内)  
気温：26℃  
安静時に水分摂取  
安静時以降の飲食は禁止

### 全体の流れ



### 実験プロトコル



屋外環境に順化

ステップ的な変化

繰り返し負荷による影響



### 日除けの物性値

日射透過率	0.23
日射反射率	0.26
放射率	0.88

日陰条件

建物の陰 と 日除け下

# 被験者実験



日除け



建物の陰

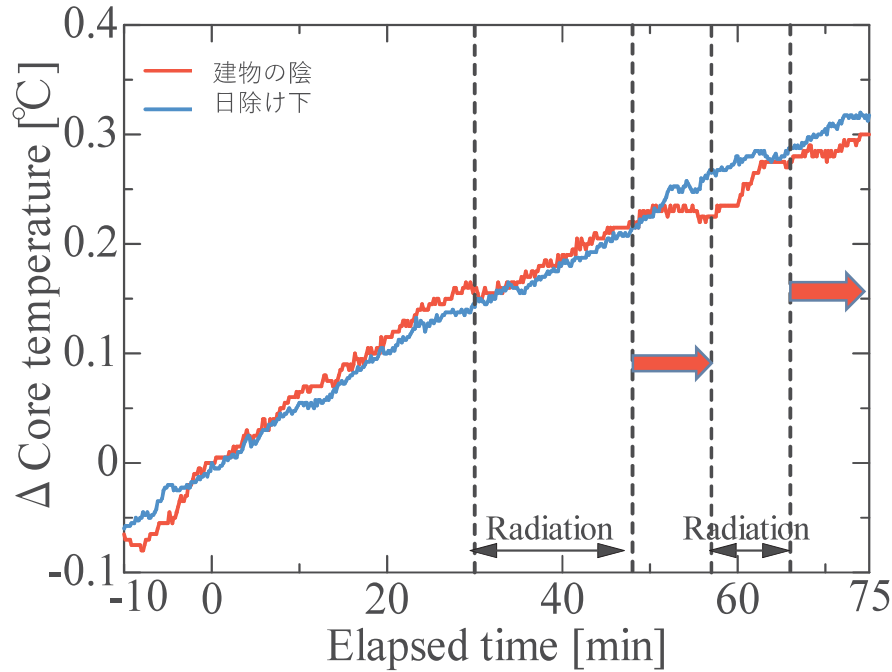
気温： $34.5 \pm 0.7^\circ\text{C}$   
相対湿度： $45 \pm 3\%$   
風速： $0.9\text{m/s}$

	全天日射量 [W/m <sup>2</sup> ]	大気放射量 [W/m <sup>2</sup> ]
建物の陰	$114 \pm 11$	$484 \pm 9$
日除け	$188 \pm 20$	$558 \pm 16$
日向	$756 \pm 51$	$491 \pm 10$

# 実験結果 (実験全体)

日陰	体重変化率[%]
建物の陰	$0.62 \pm 0.02$
日除け下	$0.75 \pm 0.08$

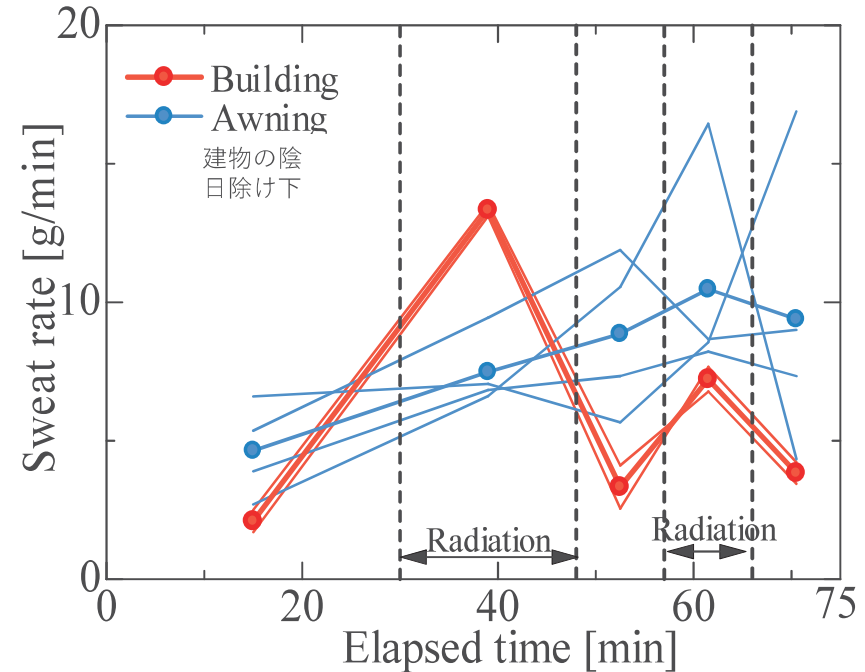
軽度の脱水  
⇒ 1-2 %



深部温度

建物の陰：2回目の日向から上昇が止まる

日除け下：実験を通して上昇



発汗量

建物の陰：熱負荷に応じて増減

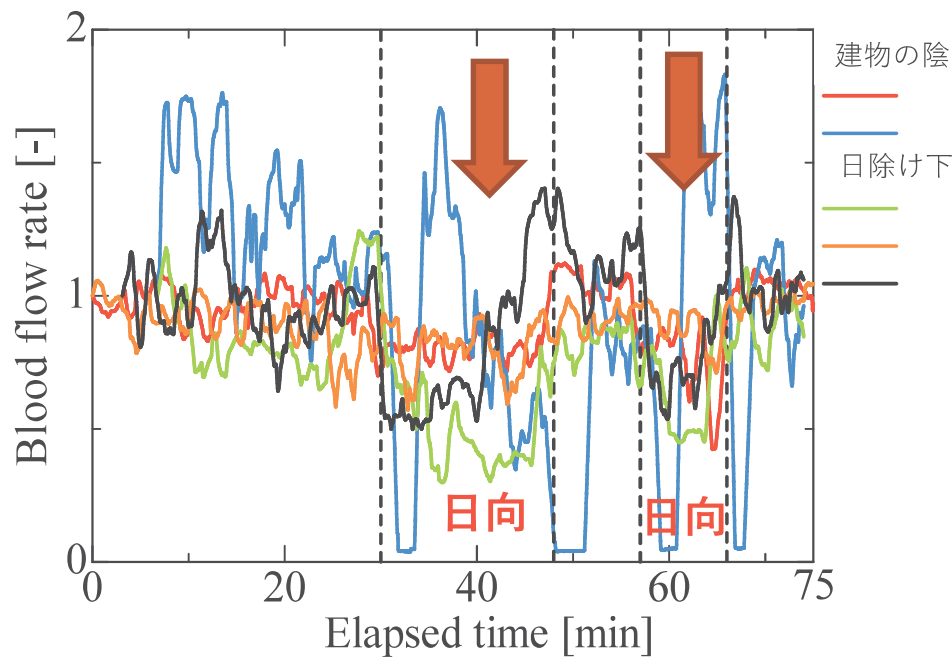
日除け下：実験を通して上昇



建物の陰：日陰による熱ストレス軽減を確認

日除け下：日向からの移動によって熱ストレスは軽減されるが、十分ではない

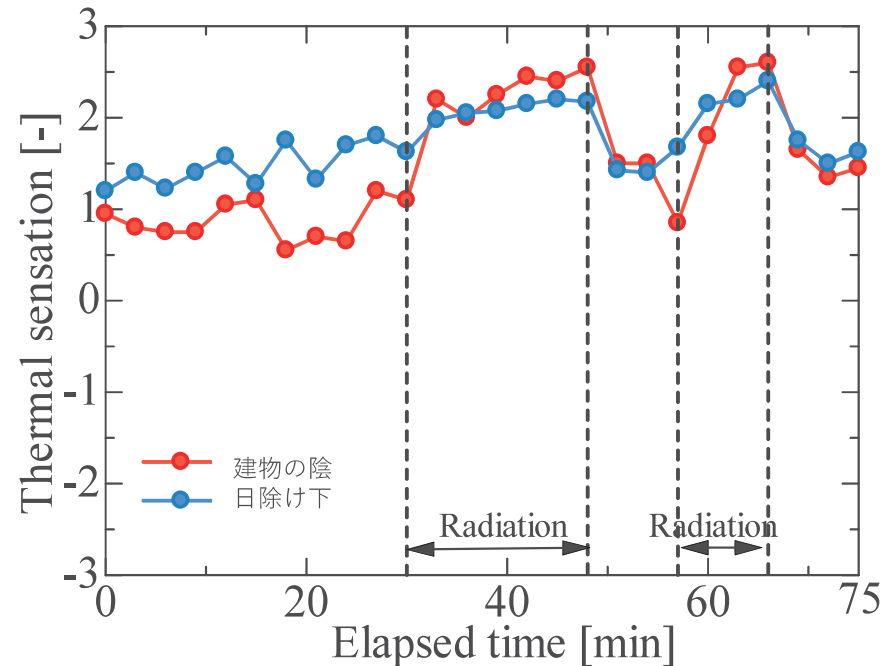


# 実験結果 (実験全体)



指先血流量 増加  副交感神経活性化  
 減少  交感神経活性化

日陰の種類に関わらず自律神経は熱ストレスが軽減されていると感じている



開始30分間は感覚量に差が有り  
 30分以降は感覚量には日陰による差が無し



感覚と負荷の違いにより危険

# マスク着用の影響

大阪府立大学B4棟中庭で実施  
実験開始前に、待機室で1時間待機  
待機時には水分管理を行う

安静環境(室内)

気温: 26°C

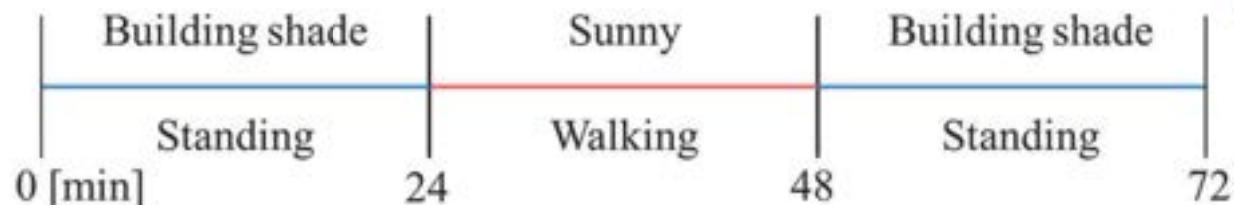
安静時以降の飲食、運動は原則禁止

実施日: 2020年8月~9月

服装: 半袖, 半ズボン, サンダル

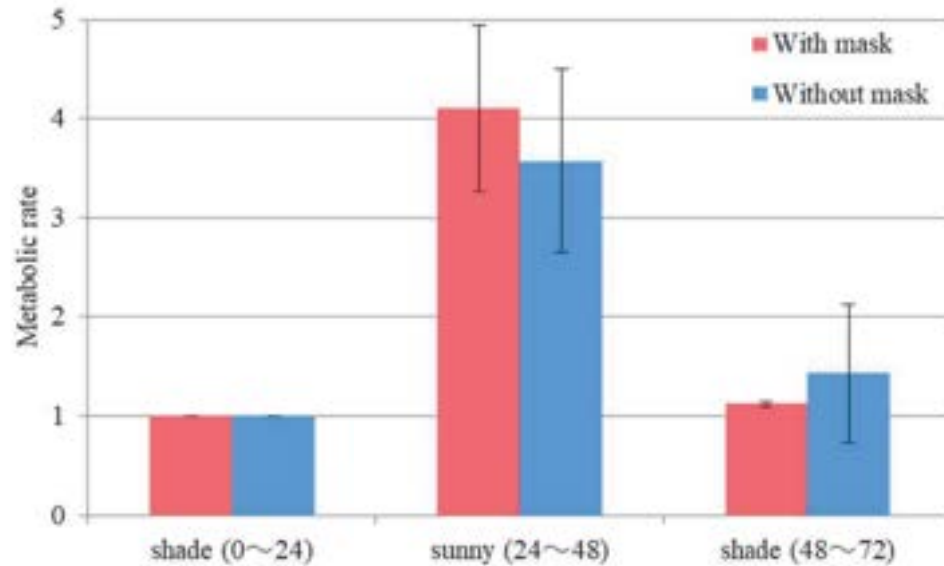
床: ウッドデッキ

## 実験プロトコル

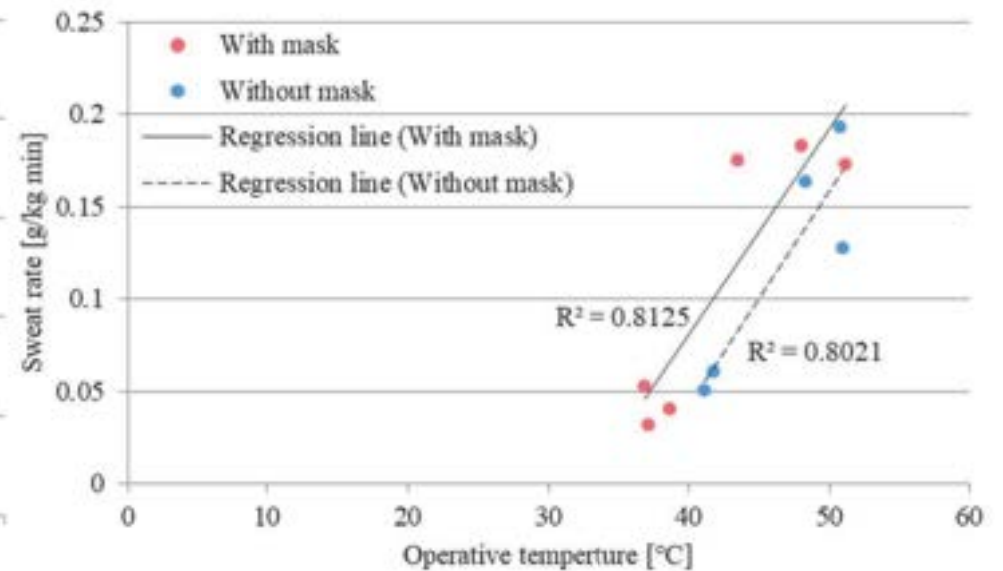


実験時の様子

# 実験結果



代謝量(0~24分を1とした場合)



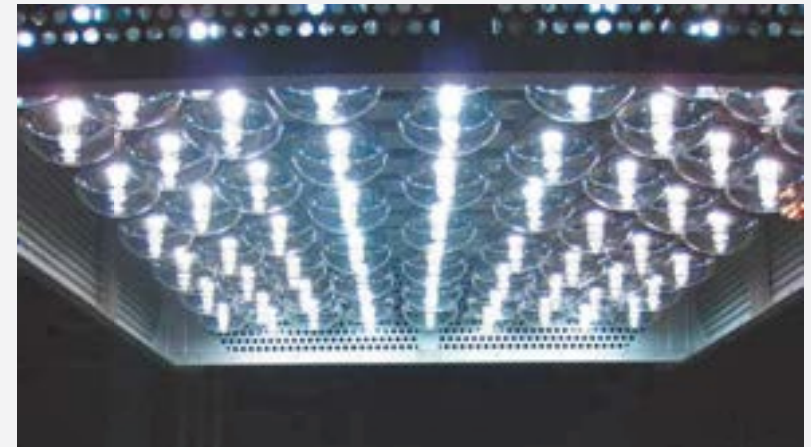
発汗率と作用温度の関係

- 日向歩行時にマスクを着用すると、**吸気抵抗**により**代謝量が増加**し、その影響で**深部体温が増加**する。
- 作用温度40°C~50°C代半ばの条件下では、マスク着用により**発汗量が増え**、脱水の進行により**熱ストレスが増加**する。

# 被験者実験（人工気候室）

反射日射 (地面からの日射反射)

人工気候室



反射日射量

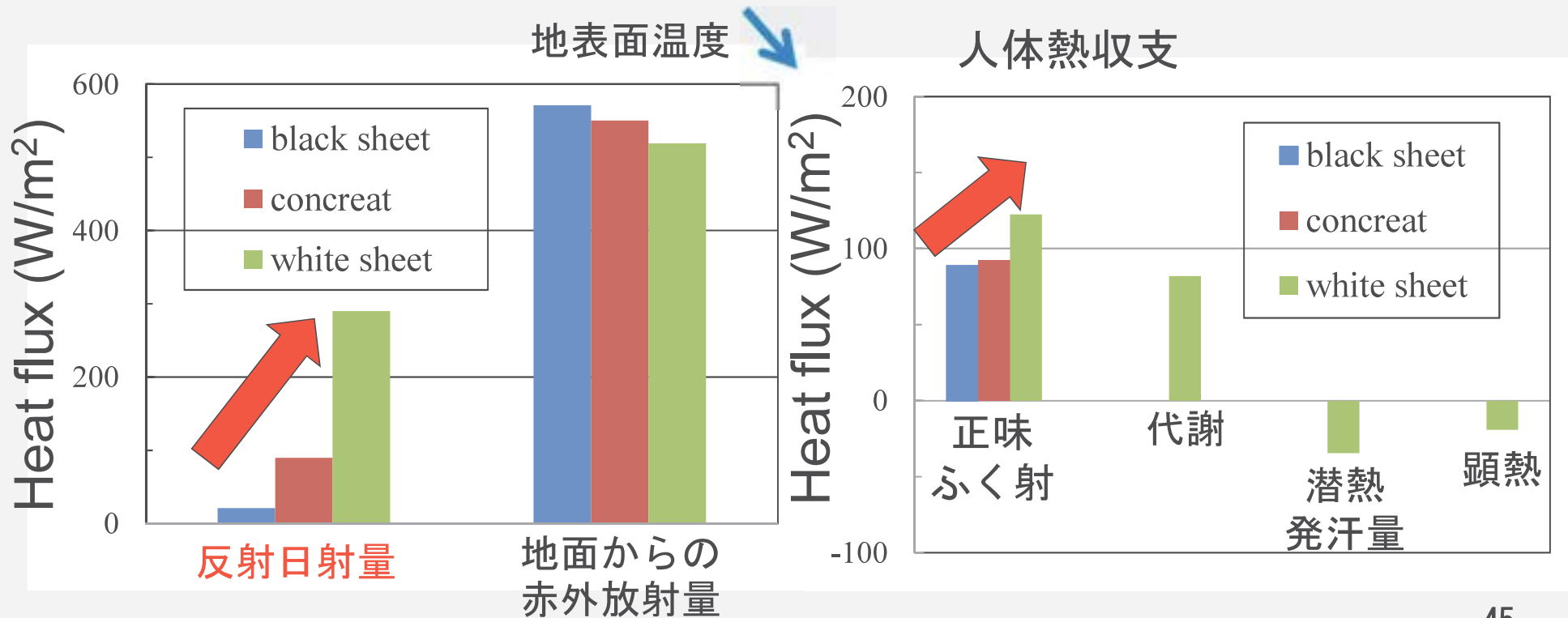
# 反射日射量 (人工気候室)

## 地表面日射反射率

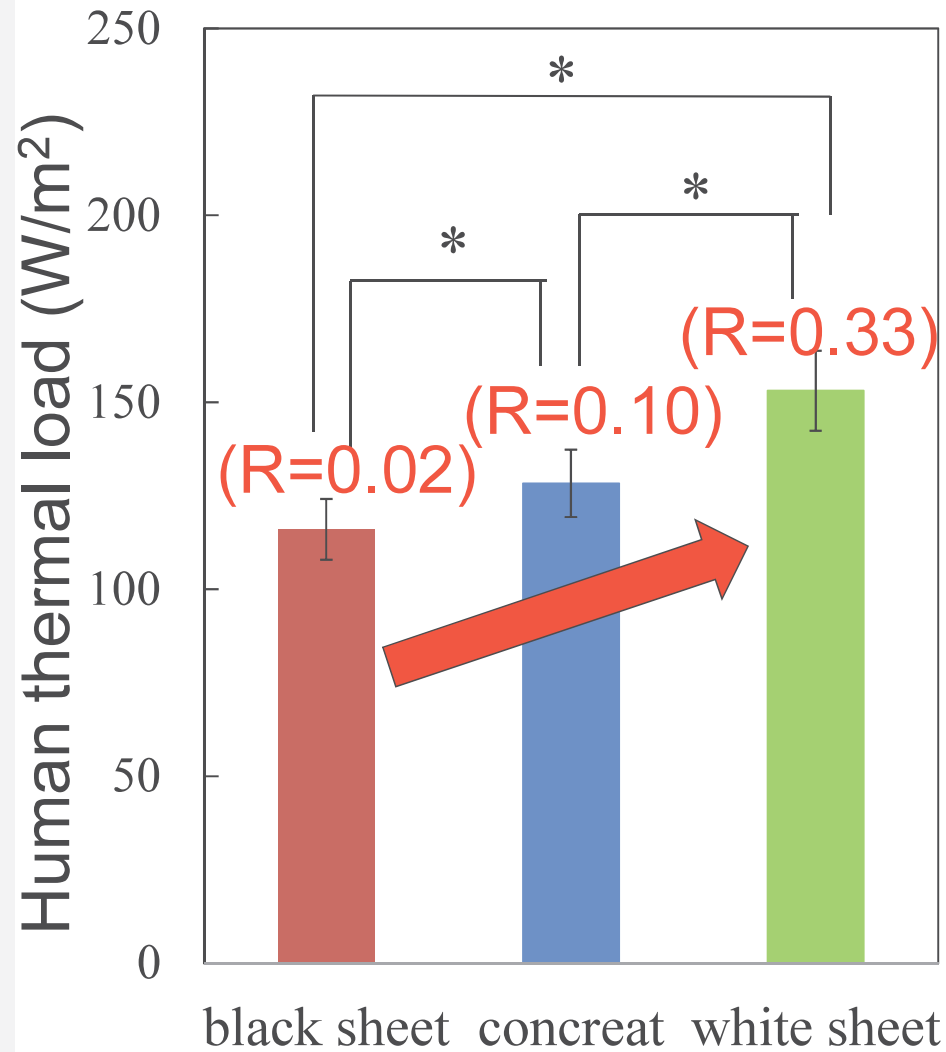
- 黒色シート ( $R=0.02$ )
- コンクリート ( $R=0.10$ )
- 白色シート ( $R=0.33$ )

## 環境条件

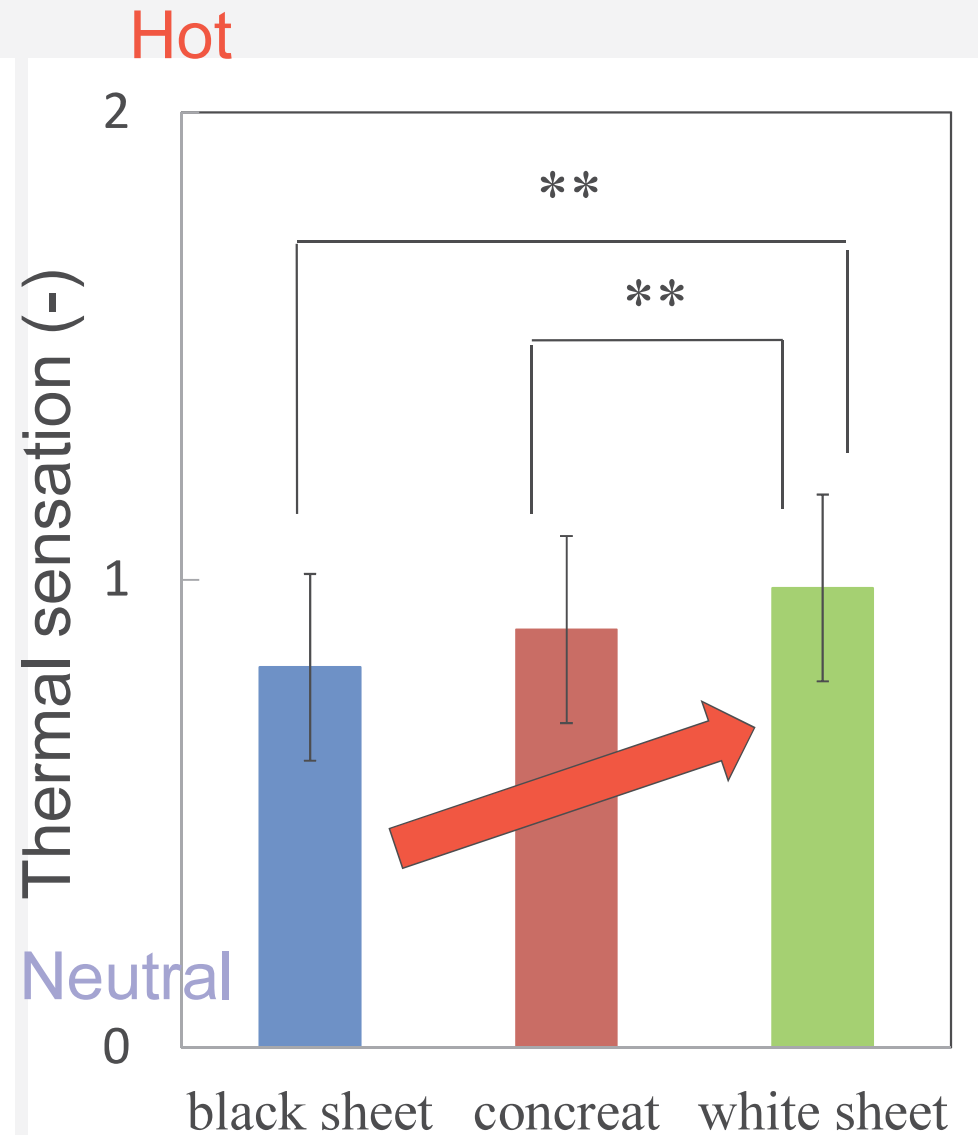
- 気温:  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 相対湿度:  $50\%$
- 風速:  $0.3\text{ m/s}$
- 日射量:  $880\text{ W/m}^2$
- 赤外放射量:  $587\text{ W/m}^2$



# 反射日射量 (人工気候室)

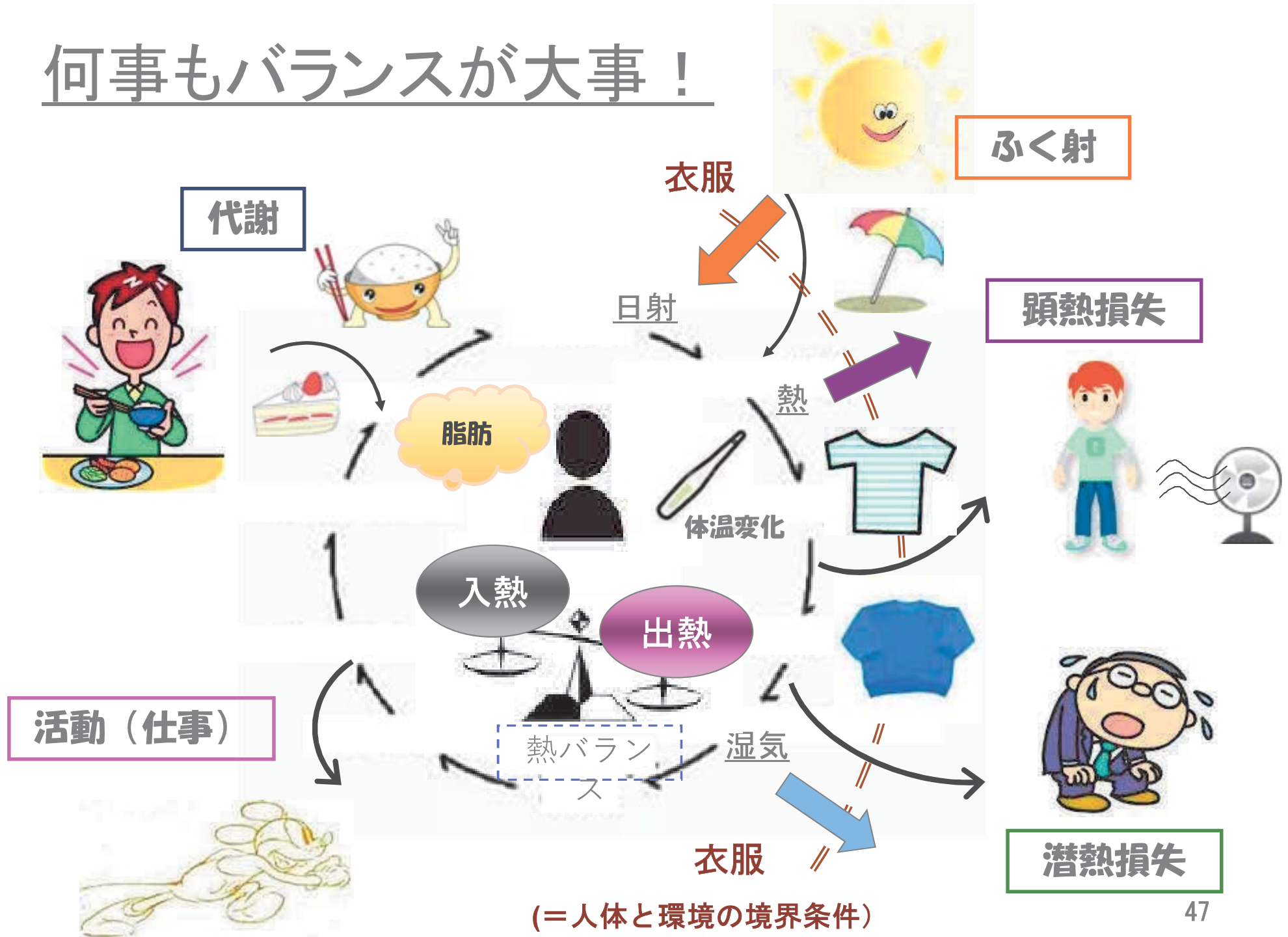


被験者数 : 4



(\*: p=0.01 \*\*: p=0.1)

# 何事もバランスが大事！



## 引用および関連文献

1. "Thermal Sensation and Thermal Load of the Human Body in an Irradiated Hot Environment", Yoshida, A., Naka, T., Chigusa, N. and Kinoshita, S., Urban Climate, Vol.36, Article number 100765, doi:10.1016/j.uclim.2020.10076510, 10 pages, (2021.3)
2. "Mobile Observation of Air Temperature and Humidity Distributions under Summer Sea Breezes in the Central Area of Osaka City", Yoshida, A., Yasuda, R. and Kinoshita, S., Atmosphere, Vol.11, Article number 1234, doi:10.3390/atmos11111234, 17 pages, (2020.11)
3. " Evaluation of Outer Structure Solar Reflection Characteristics of Highly Reflective Material in Consideration of Human Thermal Sensation", Yoshida, A., Shimazaki, Y. and Kinoshita, S., IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol.886, Article number 012036, doi:10.1088/1757-899X/886/1/012036, 7 pages, (2020.7)
4. "Field Measurement on Thermal Load of Concrete Building Model with Wooden Decoration", Yoshida, A., Shoho, S. and Kinoshita, S., CIB World Building Congress 2019, Ab0358, USB-Flash (9 pages), Hong Kong SAR, China, (2019.6)
5. " Evaluation of Thermal Sensation in Various Outdoor Radiation Environment", Yoshida, A., Hayashi, D., Shimazaki, Y. and Kinoshita, S., Architectural Science Review, Vol.62-3, pp.261-270, (2019.4)



6. " Evaluation of Reduction Effect on Thermal Load Inside and Outside of Concrete Building with Wooden Decoration by Numerical Analysis", Yoshida, A., Shoho, S. and Kinoshita, S., Energy Procedia, Vol.132, pp.435-440, (2017.10)
7. " Performance Evaluation of Convective Heat Transfer on Leaf Surface by Model Specimens", Kinoshita, S. and Yoshida, A., Journal of Heat Island Institute International, Vol.12-2, pp.68-72, (2017.7)
8. "熱処理木材を使った木製外装による建物模型を用いた断熱性能の評価", 荘保伸一, 朝倉靖弘, 吉田篤正, 木下進一, 日本建築学会技術報告集, Vol.22-52, pp.871-874, (2016.10)
9. " Evaluation of Effect of Tree Canopy on Thermal Environment, Thermal Sensation, and Mental State", Yoshida, A., Hisabayashi, T., Kashihara, K., Kinoshita, S. and Hashida, S., Urban Climate, Vol.14, pp.240-250, (2015.9)
10. " Field Investigation on Thermal Environment and Human Thermal Sensation in Premises Woods on Urban Area", Hashida, S., Shimazaki, Y. and Yoshida, A., Journal of Heat Island Institute International, Vol.9-2, pp.127-132, (2014.11)
11. " Field Investigation on Thermal Environment and Human Thermal Sensation in Premises Woods on Urban Area", Hashida, S., Shimazaki, Y. and Yoshida, A., Journal of Heat Island Institute International, Vol.9-2, pp.127-132, (2014.11)

12. "Influence of Heat Transport by Sea Breezes on Inland Temperature in Osaka Area", Yoshida, A., Yashiro, J., Xiao, X. and Yasuda, R., Journal of Heat Island Institute International, Vol.9-2, pp.6-10, (2014.11)
13. "上空から撮影された熱赤外面像に基づいた堺市域における表面温度分布の推定", 安田龍介, 中川 文里, 吉田 篤正, 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol.9, pp.13-22, (2014.4)
14. "木製外装を施した建物による大気への熱負荷抑制の効果", 荘保伸一, 小淵義照, 吉田篤正, 木下進一, 日本建築学会技術報告集, Vol.20-44, pp.173-176, (2014.2)
15. " Evaluation of the Solar Reflectance of Cool Materials by On-site Measurement of Deterioration because to Aging", Kinoshita, S., Yoshida, A. and Kokawa, S., Journal of Heat Island Institute International, Vol.7-2, pp.205-212, (2012.12)
16. "Field Measurement of the Energy Budget for an Isolated Plant Unit ", Yoshida, A., Kataoka, Y., Nii, K. and Kinoshita, S., Journal of Heat Island Institute International, Vol.7-2, pp.142-150, (2012.12)
17. "Application of Human Thermal Load into Unsteady Condition for Improvement of Outdoor Thermal Comfort", Shimazaki, Y., Yoshida, A., Suzuki, S., Kawabata, T., Imai, D. and Kinoshita, K., Building and Environment, Vol.46-8, pp.1716-1724, (2011.8)

18. “街路空間における熱輸送量測定と温熱快適性評価 —大阪市御堂筋における夏季実測—”, 木下進一, 吉田篤正, 島崎康弘, 日本建築学会技術報告集, Vol. 15-31, pp. 803-806, (2009. 10)
19. “人体熱負荷量に基づく温熱快適性指標の提案”, 島崎康弘, 吉田篤正, 木下進一, 日本冷凍空調学会論文集, Vol. 26-1, pp. 113-120, (2009. 3)
20. “堺市およびその周辺地域の温熱環境の実測と解析”, 吉田篤正, 安田龍介, 木下進一, 日本冷凍空調学会論文集, Vol. 26-1, pp. 57-67, (2009. 3)
21. “建築用膜材のふく射特性の測定とヒートアイランド抑制効果解析”, (筆頭) 吉田篤正, 木下進一, 村上裕紀, 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol. 1, pp. 36-40, (2006. 7)
22. “都市における樹林のクールスポット効果に関する実測データ解析”, 森山正和, 河野仁, 吉田篤正, 宮崎ひろ志, 竹林英樹, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 66-541, pp. 49-56, (2001. 3)
23. “Surface Heat Transfer and Energy Balance in Urban Canyon”, Yoshida, A., Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium, WMO/TD, No. 1026, (WCASP-50), pp. 455-460, (2000. 8)
24. “植物群落およびその構成要素の太陽光に対する分光指向反射特性計測に関する研究”, (筆頭) 吉田篤正, 明石徳之, 牧野俊郎, 太陽エネルギー, Vol. 25-3, pp. 41-46, (1999. 5)

25. "Field Study on Green Canopy as Urban Cool-Spot", Miyazaki, H., Moriyama, M. and Yoshida, A., Nature and Human Activities, Vol.1, pp.51-56, (1996.1)
26. "Solar Radiation Transfer in Urban Canyon Made by Buildings", Yoshida, A., Idei, S., Tominaga, K. and Akamatsu, M., Solar Engineering 1992, Vol.1, pp.133-137, (1992.4)
27. "Field Measurement on Energy Balance of an Urban Canyon in the Summer Season", Yoshida, A., Tominaga, K. and Watatani, S., Energy and Buildings, Vol.15-3/4, pp.417-423, (1991.3)
28. "建物で囲まれた都市キャニオンにおける熱輸送の実測と評価", 吉田篤正, 富永和秀, 綿谷茂, 日本機械学会論文集 B編, Vol.56-524, pp.1155-1160, (1990.4)
29. "太陽光に対する屋外環境表面の分光反射特性に関する研究", 吉田篤正, 出井誠一, 富永和秀, 国友孟, 日本機械学会論文集 B編, Vol.54-497, pp.172-177, (1988.1)