

# 入射角を考慮した建物外皮への 日射の吸収・透過率について

産業技術総合研究所

サステナブルマテリアル研究部門

自然エネルギー制御・評価研究グループ

田澤真人

# 内容

- 建物外皮への日射(斜入射)の重要性
  - 現状のJISについて、日射の入射角について
- 窓ガラスへ日射
- セラミックタイルへの日射
- サーモクロミックガラス

# 現在のJISR3106(1)

- 分光透過率(垂直入射)、分光反射率(15度を超えない入射角)の測定から日射熱取得率、日射透過率の計算

$$\tau_e = \frac{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda \cdot \tau_{1,n}(\lambda)}{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda}$$

$$E\lambda \cdot \Delta\lambda$$

付表2(300-2100nm)で与えられる

$$\rho_e = \frac{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda \cdot \rho_{1,n}(\lambda)}{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda}$$

$$\tau_{1,n}(\lambda), \rho_{1,n}(\lambda)$$

n枚のガラス板構成体の  
分光透過率と分光反射率

$$\alpha_{ej} = \frac{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda \cdot \alpha_{1,n}(\lambda)}{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda}$$

$$\alpha_j(\lambda)$$

n枚のガラス板構成体のj番目の  
ガラス板の分光吸収率

# 現在のJISR3106(2)

- 2枚のガラス板からなる複層ガラスの場合  
透過率と反射率だけ

$$\tau_{1,2}(\lambda) = \frac{\tau_{1,1}(\lambda) \cdot \tau_{2,2}(\lambda)}{1 - \rho_{2,2}(\lambda) \cdot \rho'_{1,1}(\lambda)}$$

$$\rho_{1,2}(\lambda) = \rho_{1,1}(\lambda) + \frac{\tau_{1,1}^2(\lambda) \cdot \rho_{2,2}(\lambda)}{1 - \rho_{2,2}(\lambda) \cdot \rho'_{1,1}(\lambda)}$$

$\tau_{1,1}(\lambda)$ : 室外側ガラス板の分光透過率

$\rho_{1,1}(\lambda)$ : 室外側ガラス板の分光反射率(室外側方向から入射)

$\rho'_{1,1}(\lambda)$ : 室外側ガラス板の分光反射率(室内側方向から入射)

$\tau_{2,2}(\lambda)$ : 室内側ガラス板の分光透過率

$\rho_{2,2}(\lambda)$ : 室内側ガラス板の分光反射率(室外側方向から入射)

国内の主要都市の緯度

43.1° N

35.7° N

31.6° N

26.2° N



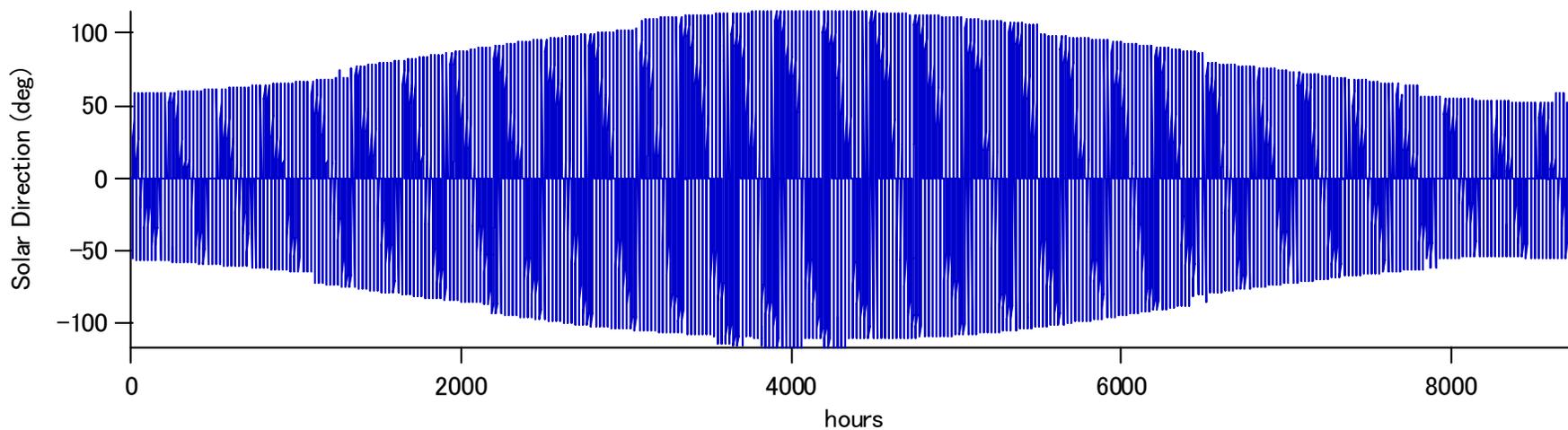
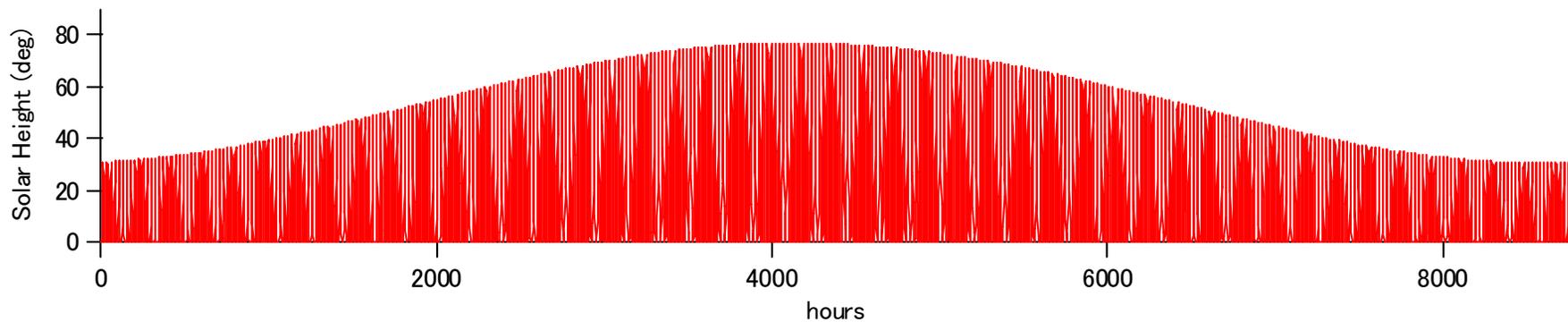
45° N

40° N

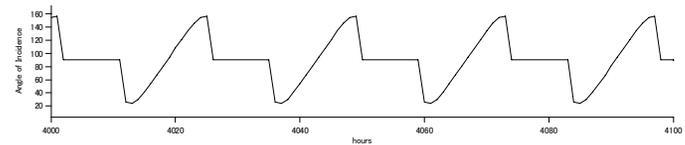
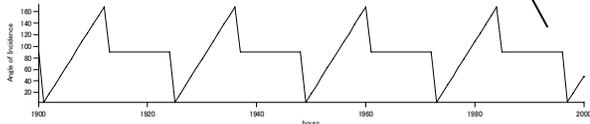
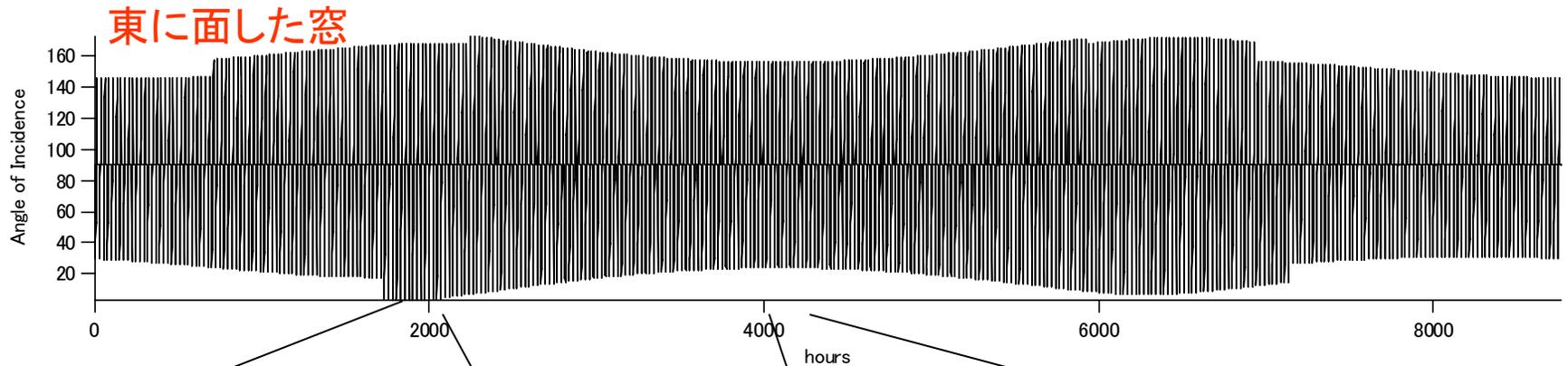
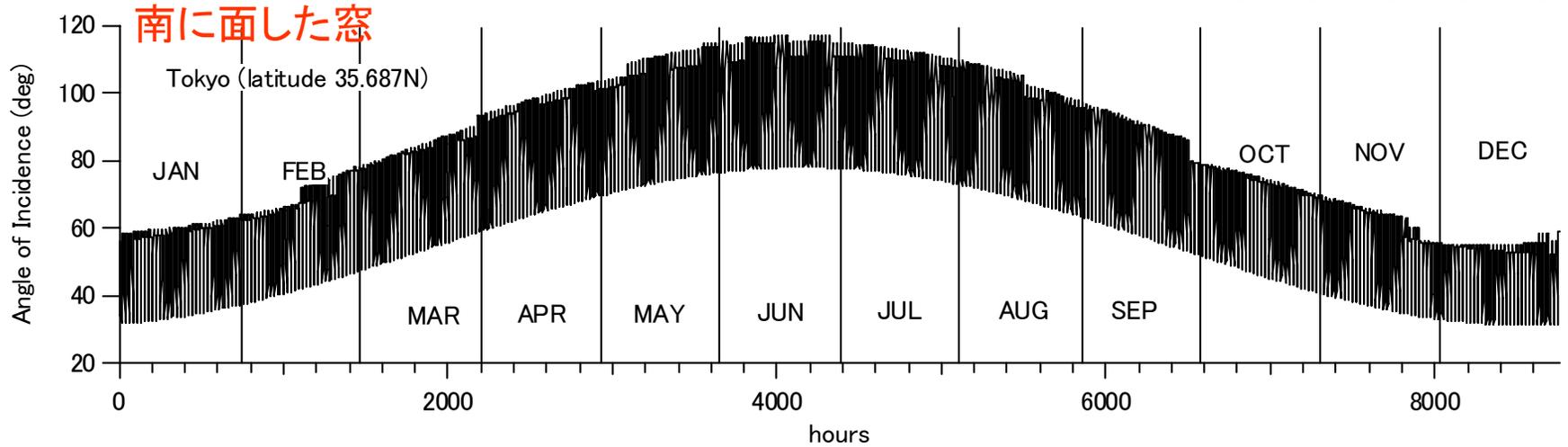
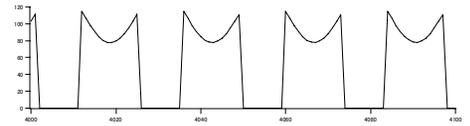
35° N

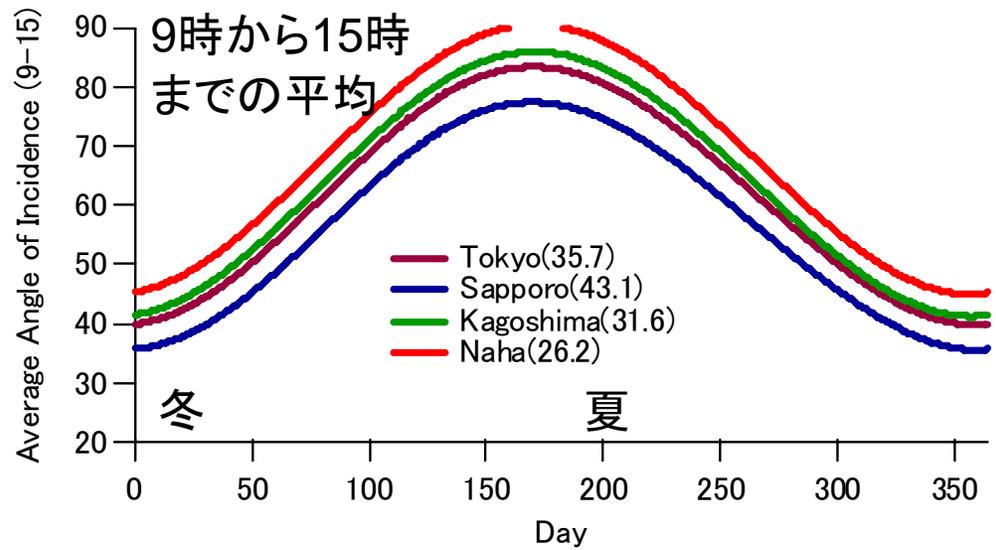
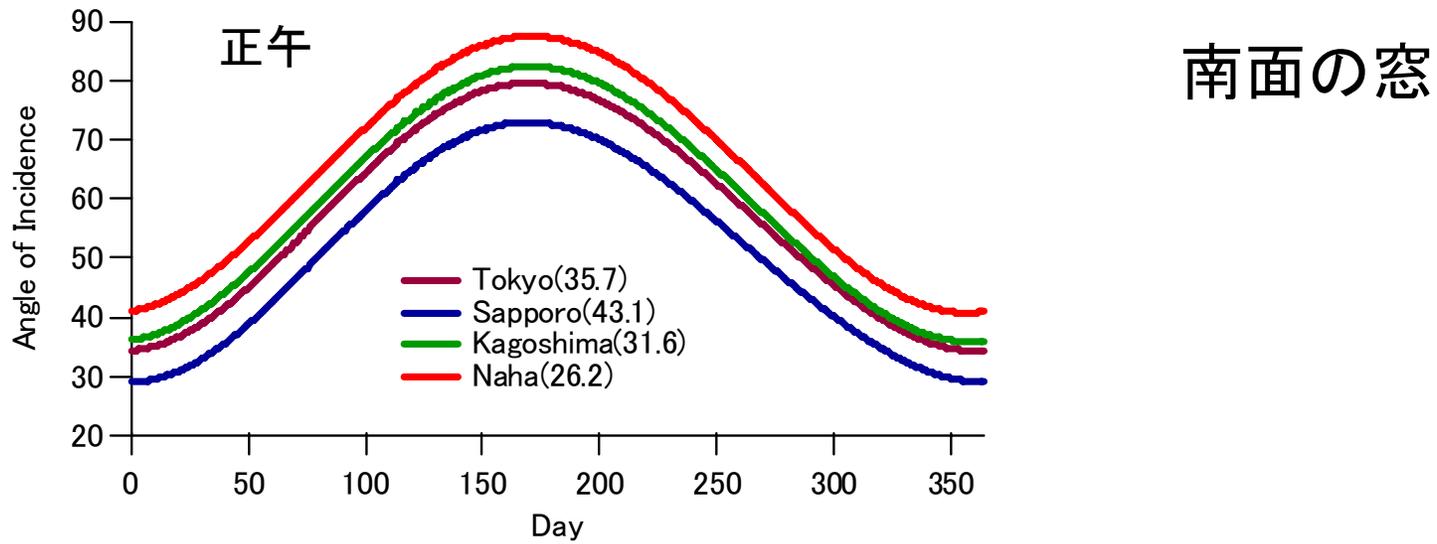
30° N

# 東京において一年にわたる太陽高度、太陽方位(真南0度、真東-90度)

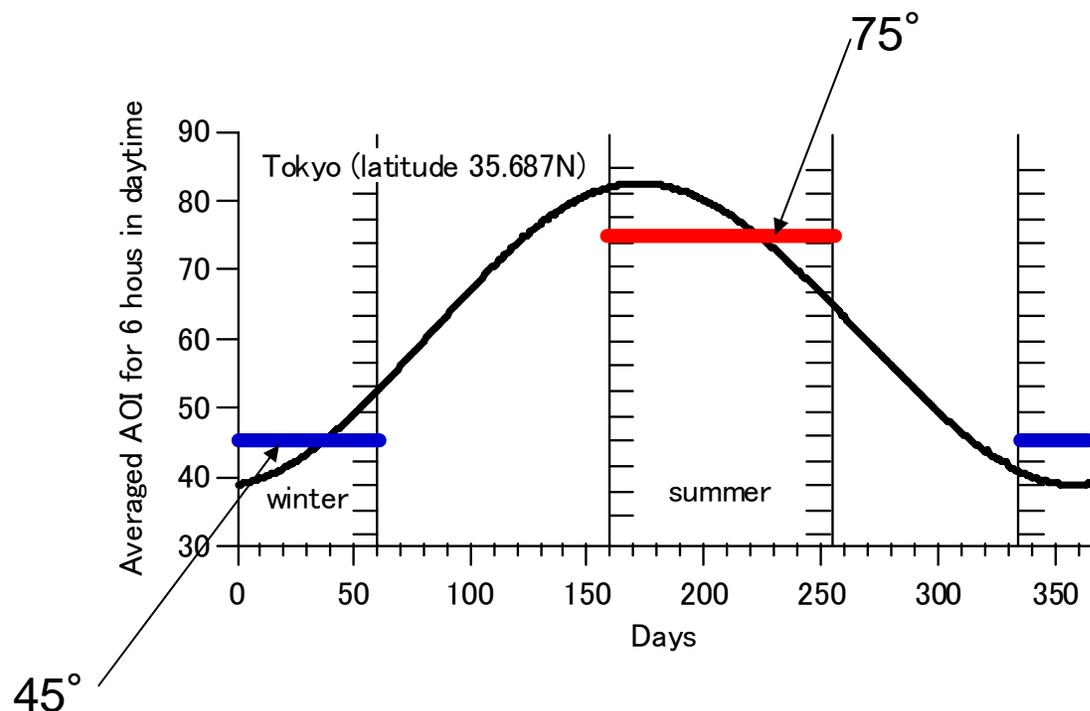


# 一年にわたる窓への日射の入射角(東京)





# 冬と夏の代表的な入射角

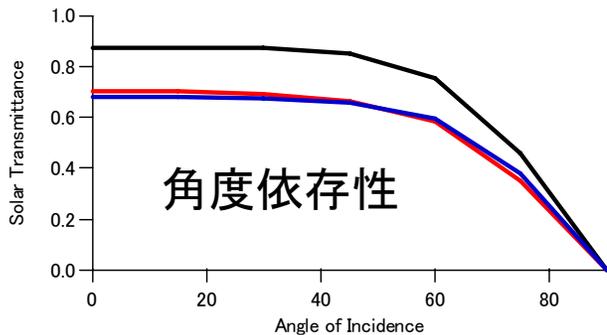
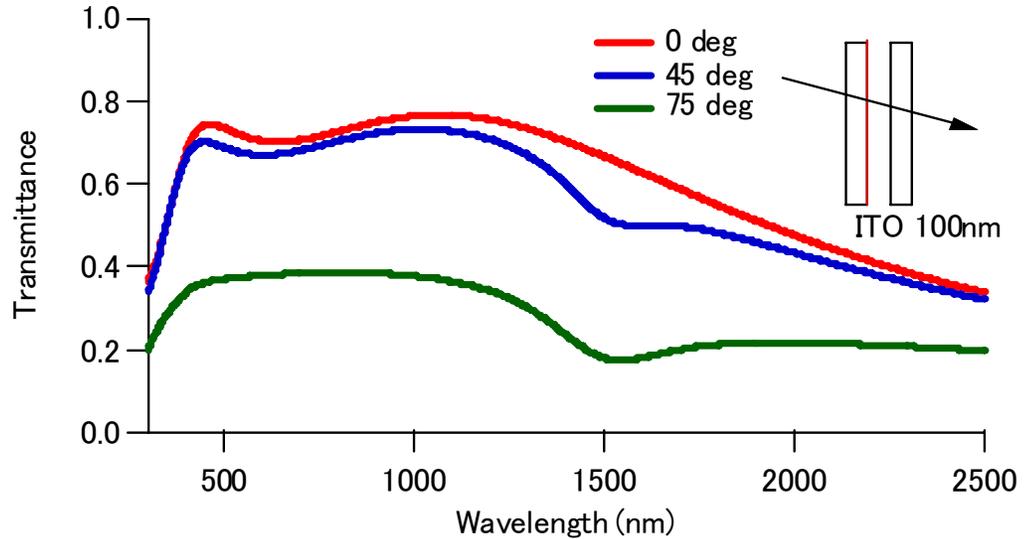
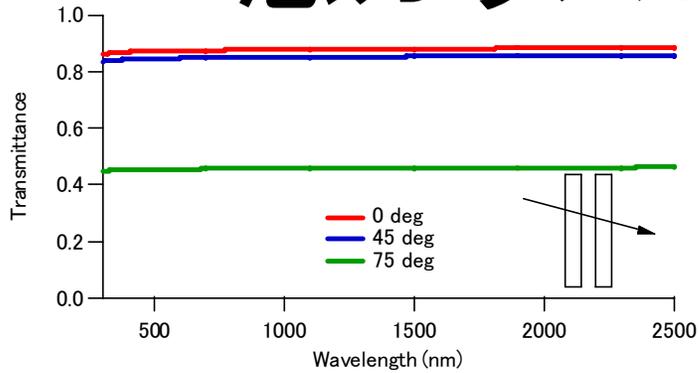


9時から15時までの入射角の平均値

# 入射角の違い

- 季節による影響
  - 東京で40度程度
- 時刻による影響
  - 東京で30度程度、夏季の方が幅が大きい(南面)
  - 0度から90度(東面、西面)(日射量で重み付け必要)
- 緯度による影響
  - 札幌、那覇間で15度程度
  - 外国も視野に入れると大きくなる  
(ヨーロッパの場合、北緯35度から60度)

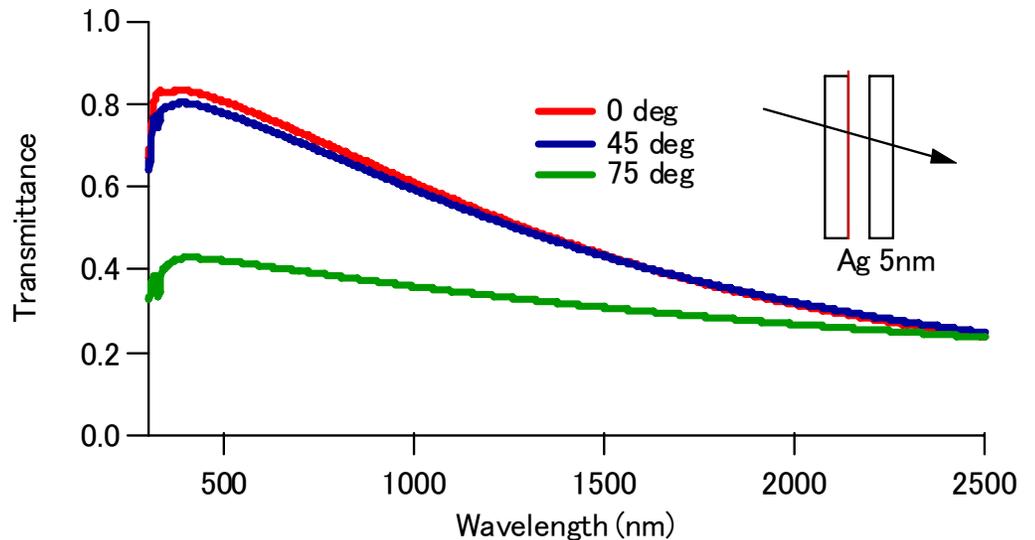
# 窓ガラスの透過率 (計算例)



角度依存性

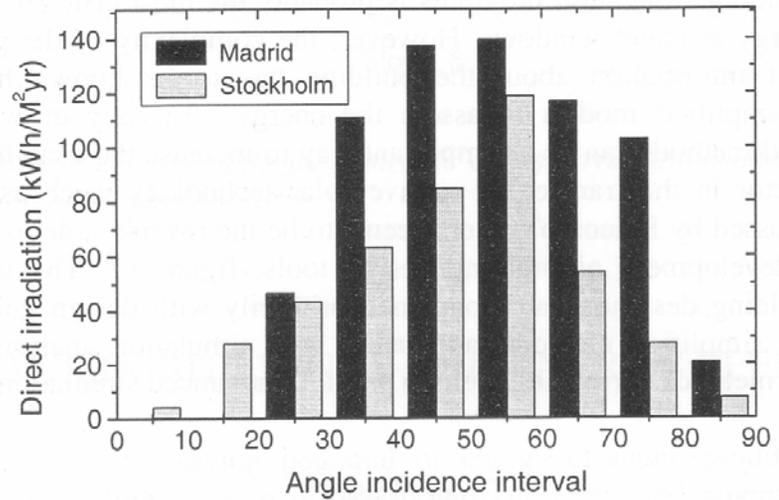
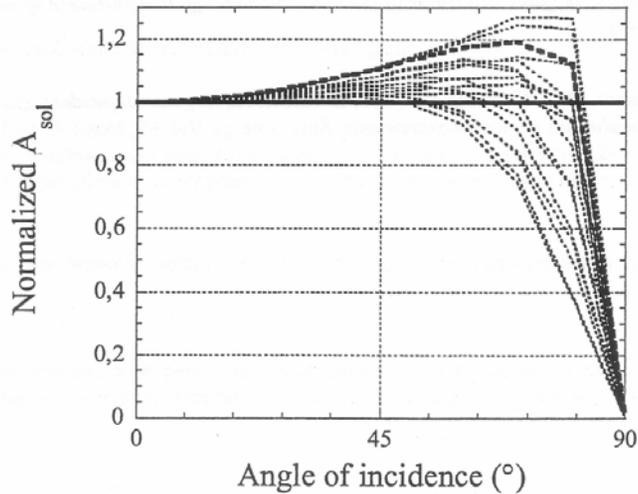
60度を越えると  
減少が顕著になってくる

冬は現行でOK、夏は？



# 分光透過率及び分光反射率の測定

- JISR3106 (既存標準:「板ガラス類の透過率・反射率・放射率・日射熱取得率の試験方法」)
  - 垂直入射(入射角が $15^\circ$  を越えない)の分光反射率と透過率を測定
- 窓ガラスに入射する日射は季節・時刻・緯度によって入射角が変化する
- 入射角が変化すると測定値が変わる



J. Karlsson and A. Roos: “Modelling the angular behaviour of the total solar energy transmittance of windows”  
 Solar Energy 69, 321-329 (2000)

A. Werner and A. Roos: “Angular variation of solar optical properties of energy efficient windows”,  
 Proceedings of CIB World Building Congress, Toronto, Canada, 2-7 May, 2004

# JISR3106の目次

1. 適用範囲
2. 引用規格
3. 定義
4. 分光透過率及び分光反射率の測定
5. 可視光透過率及び可視光反射率の算定
6. 日射透過率、日射反射率及び日射吸収率の算定
7. 常温の熱放射の放射率の算定
8. 日射熱取得率
9. 報告

# JISR3106に代わる評価法

(日射透過率、日射反射率、日射吸収率(日射熱取得率))

- 分光反射率・分光透過率を測定する入射角の組み合わせを規定する
- 緯度・方位に依存した計算方法を規定する

国内の壁の方位  
分布？

# 例

- (案1) 代表的な入射角一点で測定
- (案2) 例えば、入射角0度、45度、75度で測定
- (案3) 垂直入射の測定結果から斜入射(特に高角度)の場合を推定する方法を加筆
- (案4) 日射量で重みをつけた計算(面方位)
- (案5) 斜入射係数のような数量の定義

# 建物外壁のセラミックタイルの 分光反射特性と太陽熱吸収特性

- 建築物外皮の重要性
  - 冷暖房負荷と建物外観
- 日射吸収率と色の関係
  - 垂直入射、色度座標
- 太陽熱吸収特性
  - 太陽光の入射角とタイルの方位



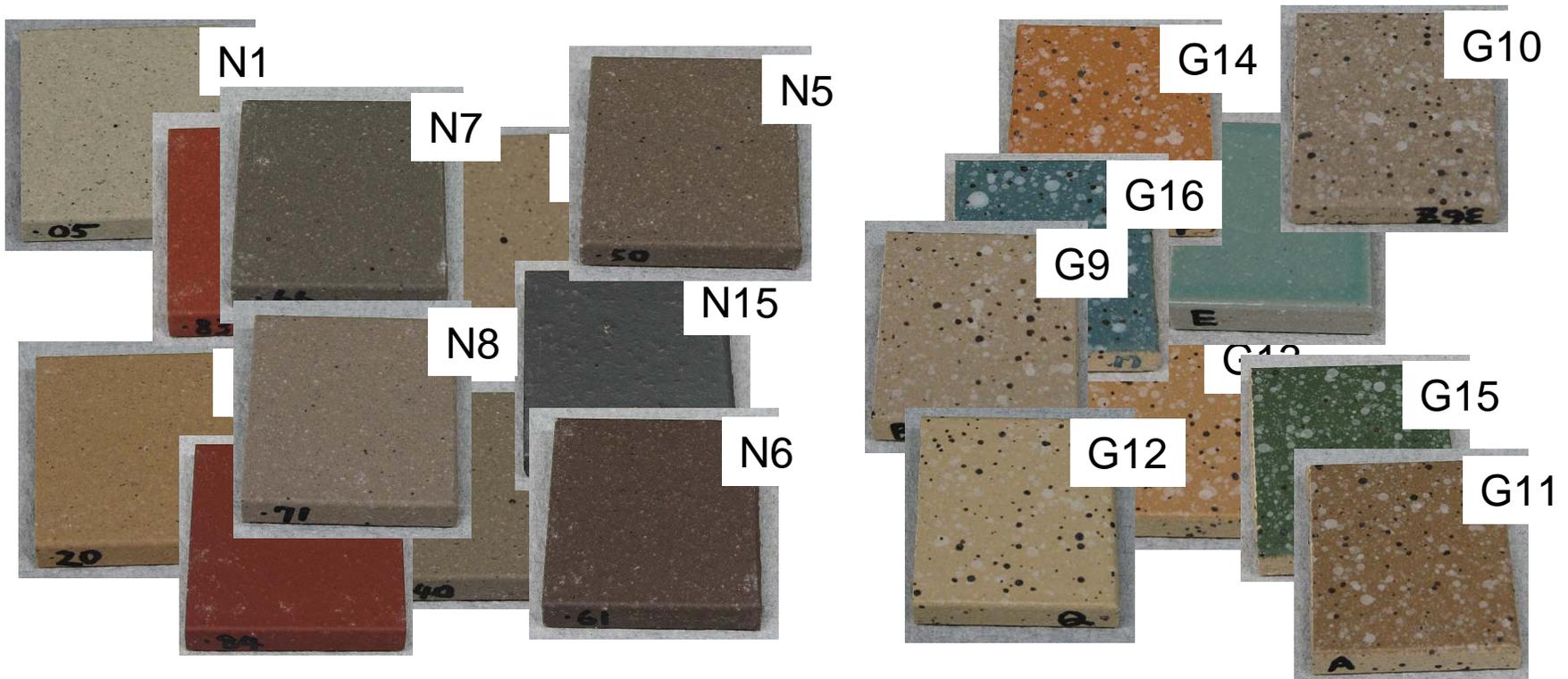
# 測定装置

- 日本分光製V570型分光光度計
- 分光半球反射率
  - 小型積分球(直径60mm)
- 分光正反射率(入射角:10度、45度、60度)
  - 絶対反射率測定装置
- 赤外半球反射率
- 赤外正反射率

# サンプル

- サンプル

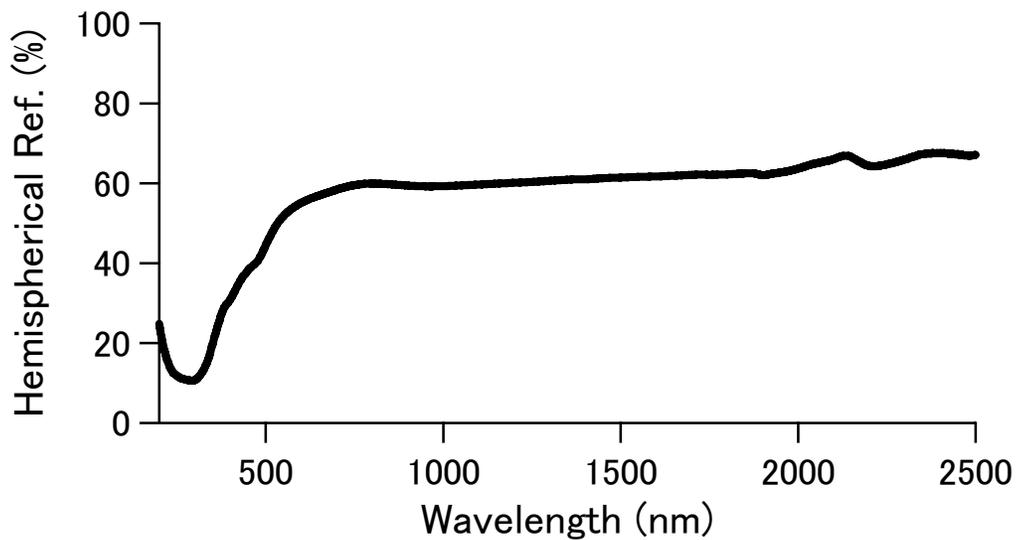
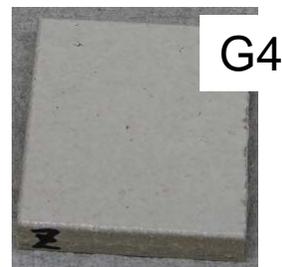
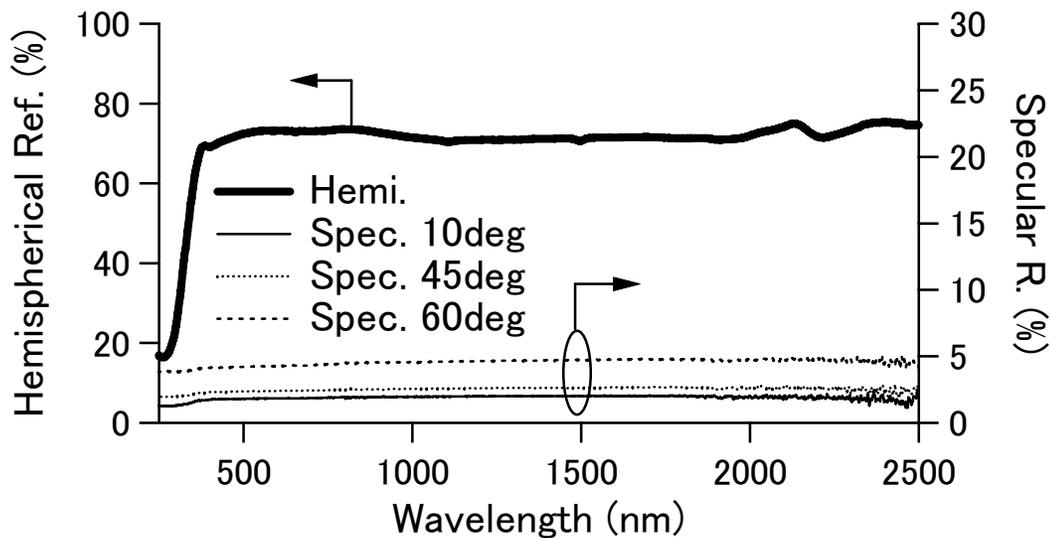
- 無釉のタイル(16個) 施釉のタイル(17個)



# 各種タイルの太陽光反射率%(AM1.5)

名前	Solar R							
N12	11.4	濃赤	N10	22.5	オレンジ			
N6	13.6	濃赤グレー	N4	22.7	グレー	G9	38.3	ベージュ
N11	15.1	赤	G11	24.4	濃ベージュ	G13	39.3	オレンジ
G15	15.1	緑	N8	27.4	薄グレー	G12	50.9	淡オレンジ
N9	16.4	茶	N14	28.2	黄色	N1	51.3	白
N15	16.9	黒	G17	29.8	緑	G7	53.2	グレー
N7	17.3	濃グレー	G14	29.9	濃オレンジ	G6	53.3	グレー
N5	19.2	赤グレー	G10	31	濃ベージュ	G1	56.1	黄色
G16	20.4	青	N3	31.8	黄色	G2	64.6	白
N16	20.5	赤	N2	32.5	ベージュ	G3	68.8	白
			G8	33.3	ベージュ	G5	70.3	白
			N13	34.7	ベージュ	G4	72.9	白

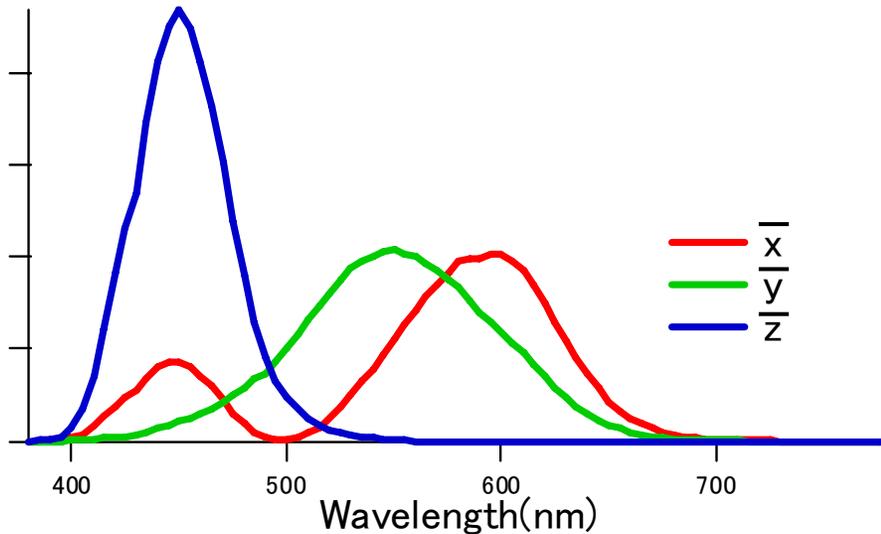
# 測定結果例



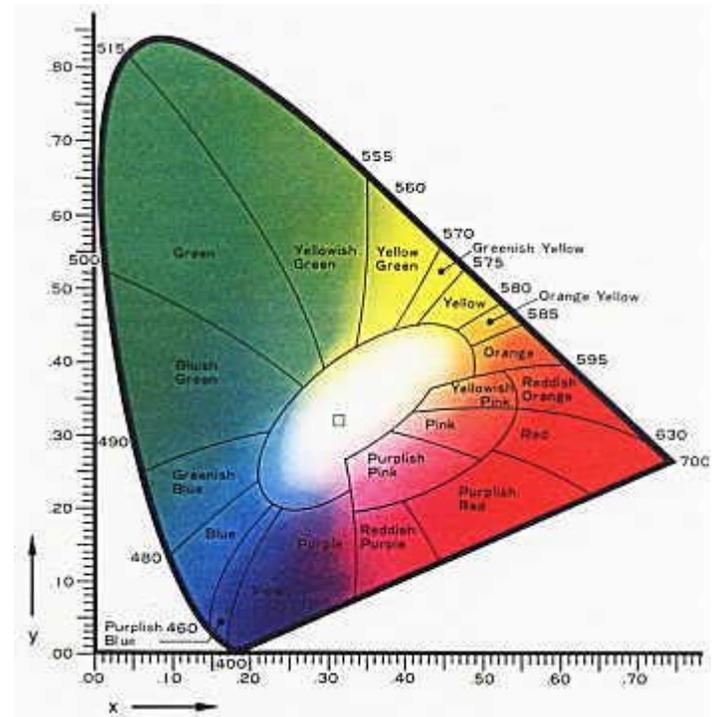
# 1: 色との関係

$$\begin{aligned}
 X &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 Y &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 Z &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda
 \end{aligned}$$

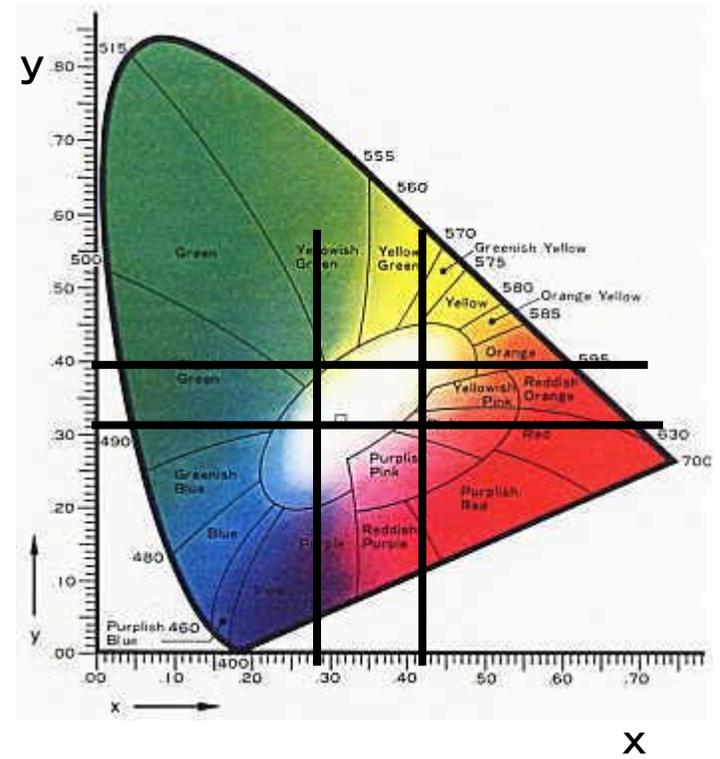
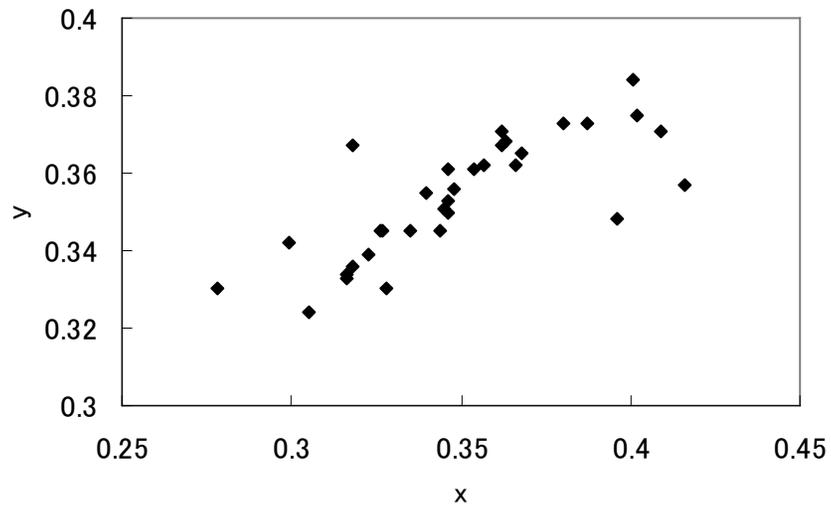
$$\begin{aligned}
 x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\
 y &= \frac{Y}{X+Y+Z}
 \end{aligned}$$



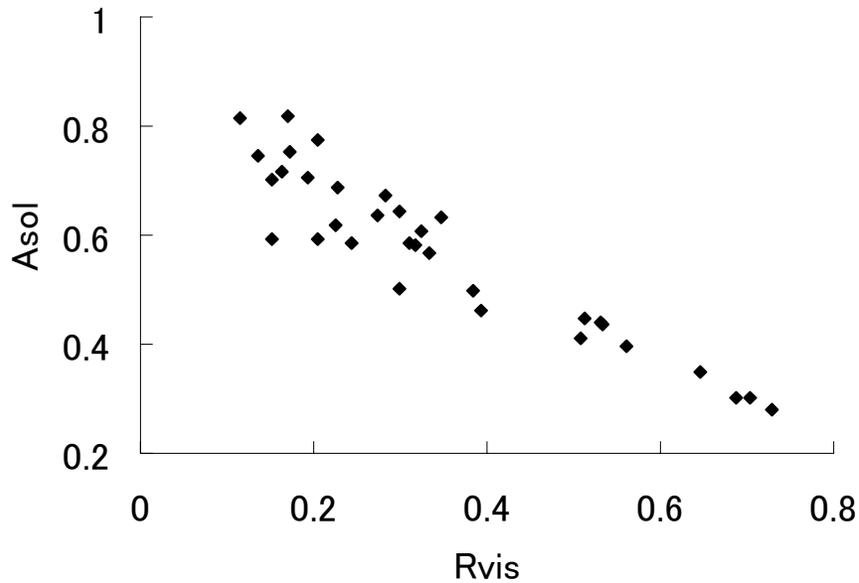
## 色度座標



# 色度座標の計算結果



# 可視光反射率と日射吸収率の関係

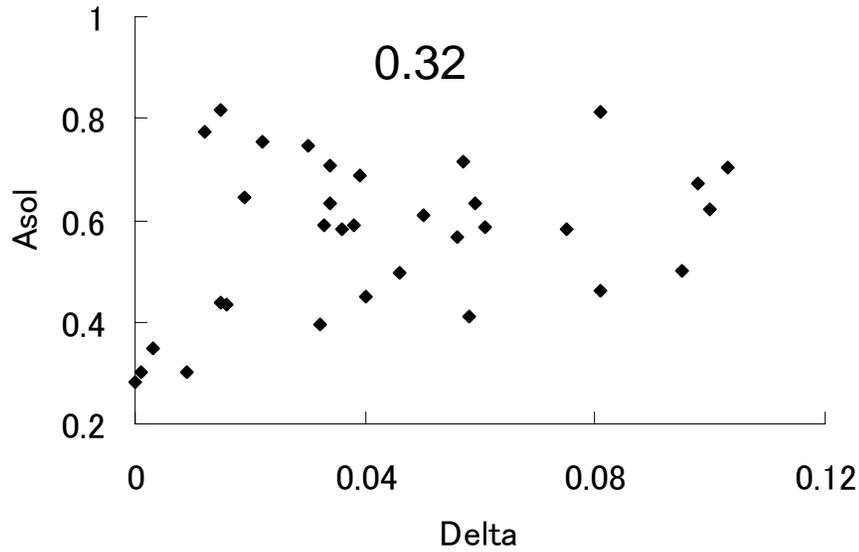


$$R_{\text{vis}} = \frac{\int R(\lambda) S_v(\lambda) d\lambda}{\int S_v(\lambda) d\lambda}$$

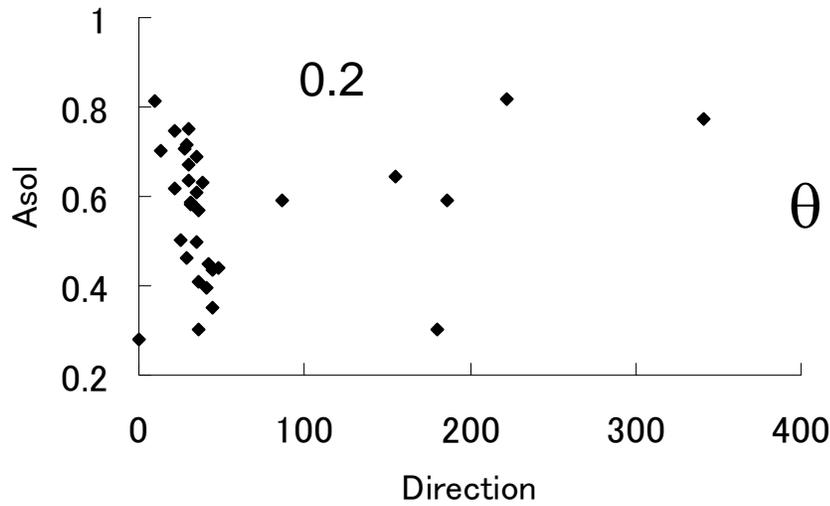
$$A_{\text{sol}} = 1 - \frac{\int R(\lambda) S_s(\lambda) d\lambda}{\int S_s(\lambda) d\lambda}$$

相関係数 = -0.94

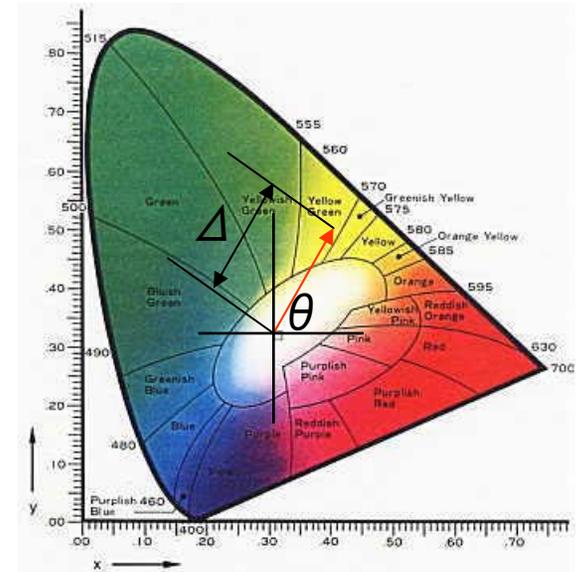
# 試料G4を中心にした場合

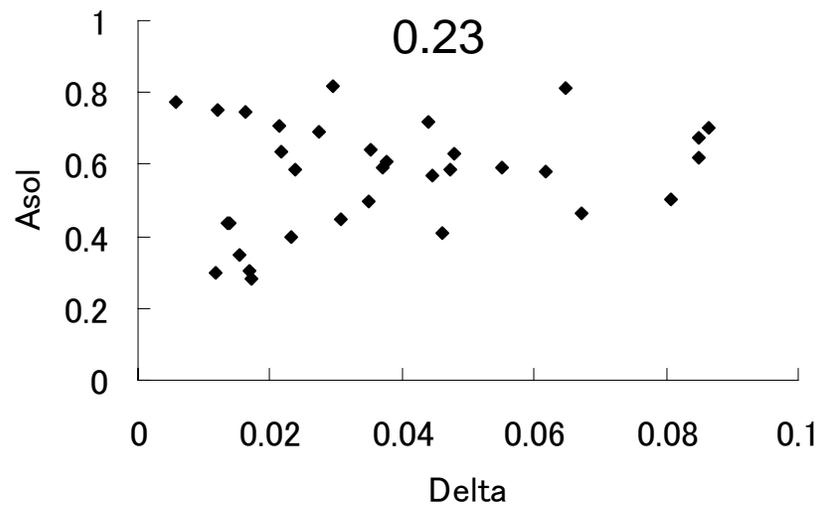


$$\Delta = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

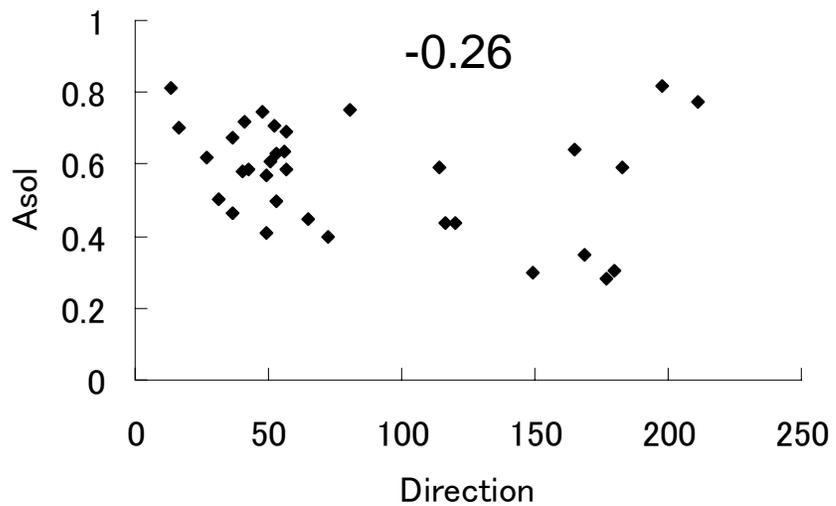


$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$



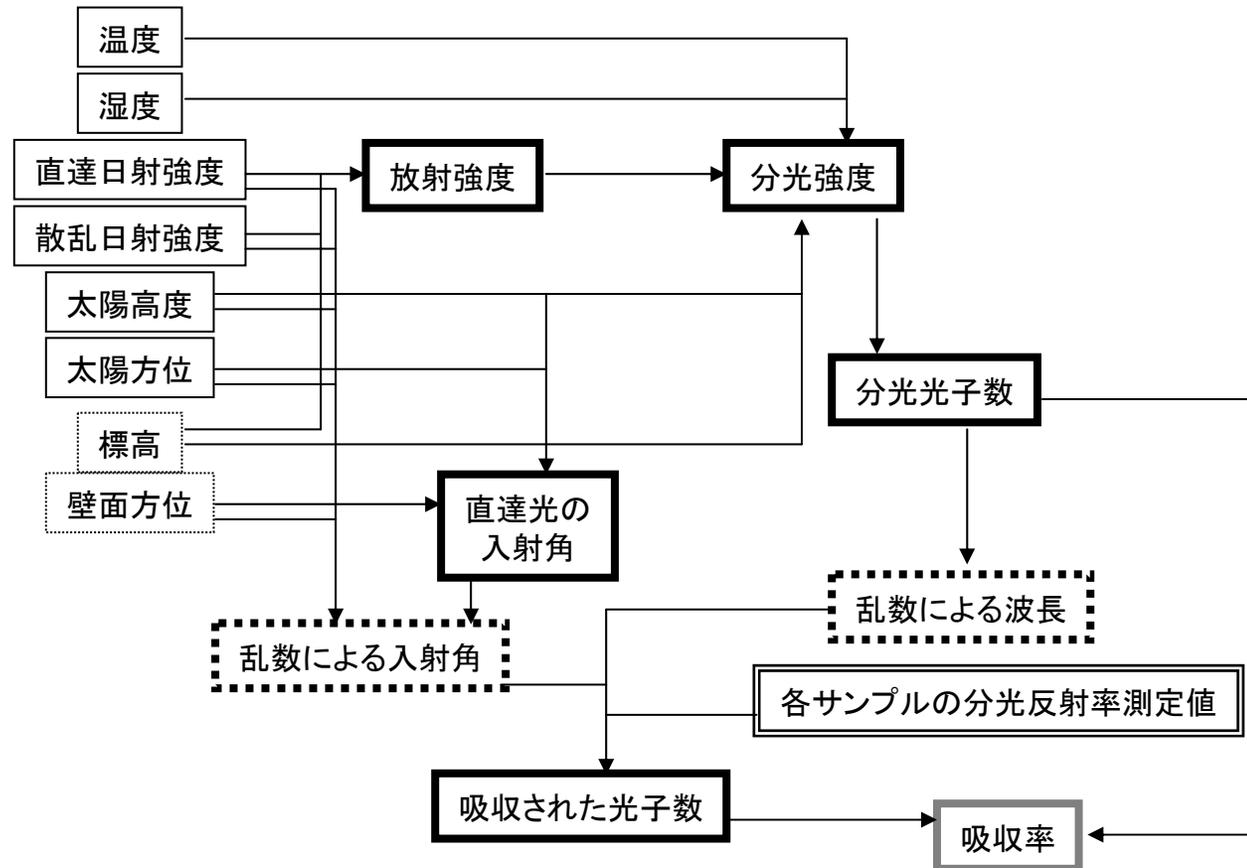


$x=0.333$ 、 $y=0.333$   
を中心にした場合



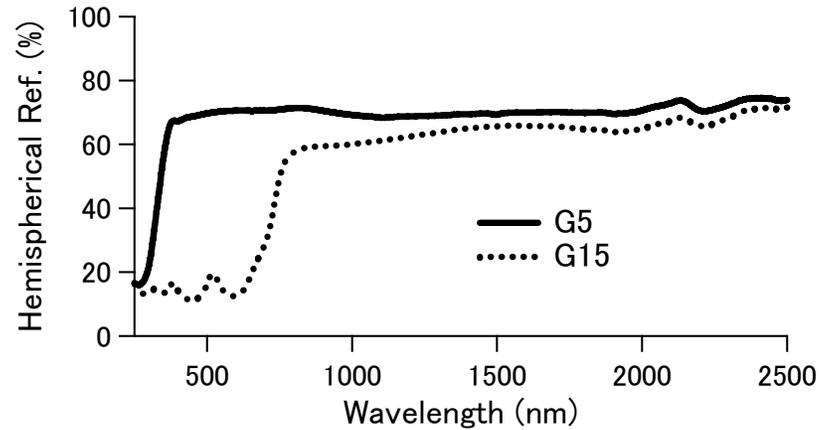
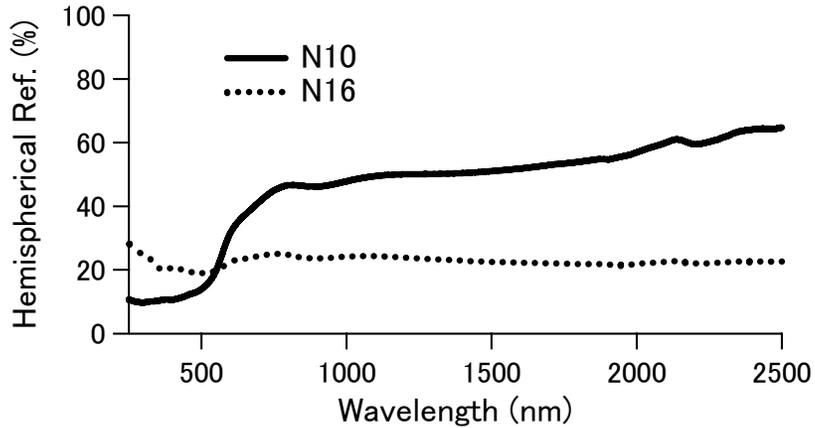
# 2: 太陽熱吸収特性

## 太陽熱吸収特性の見積もり

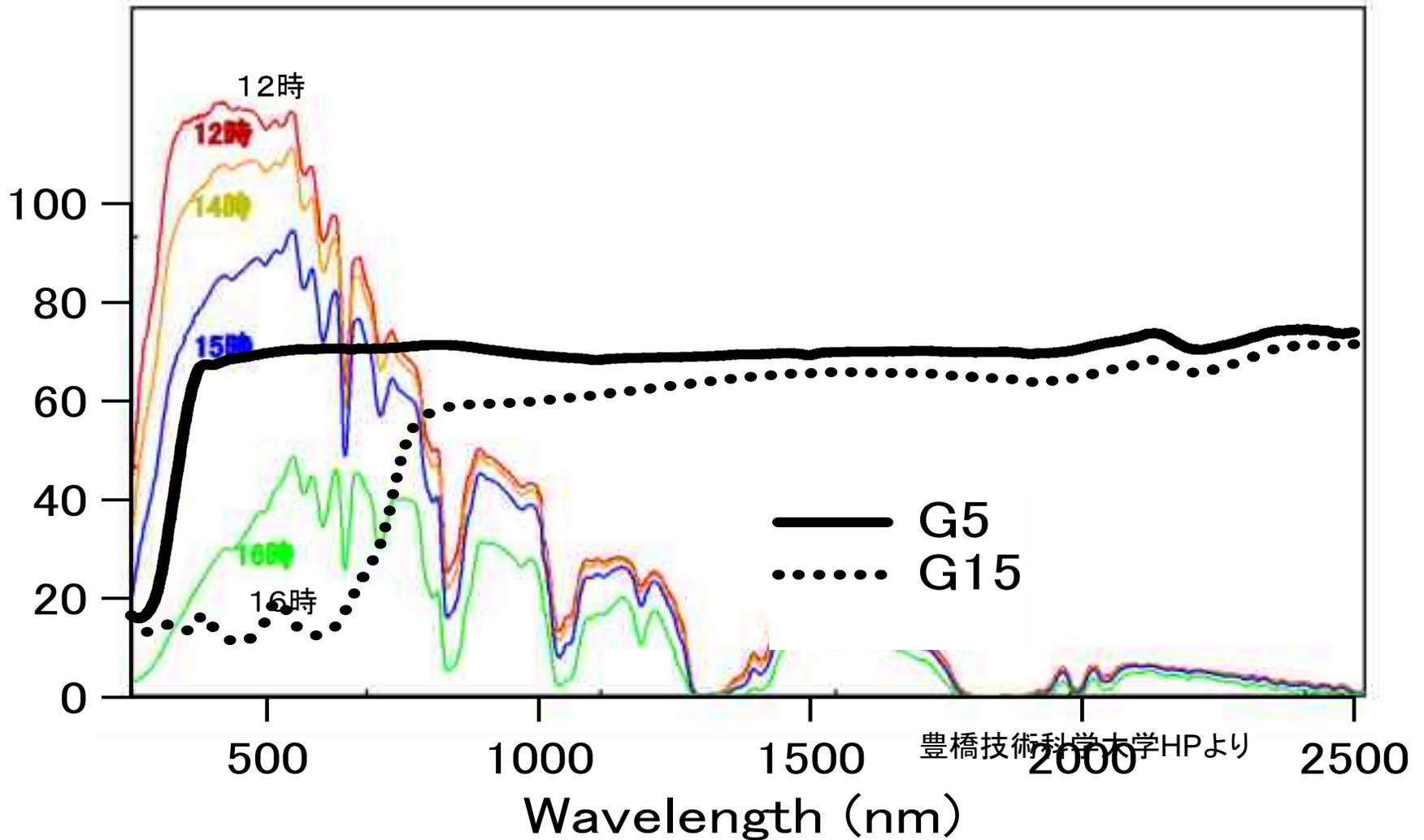


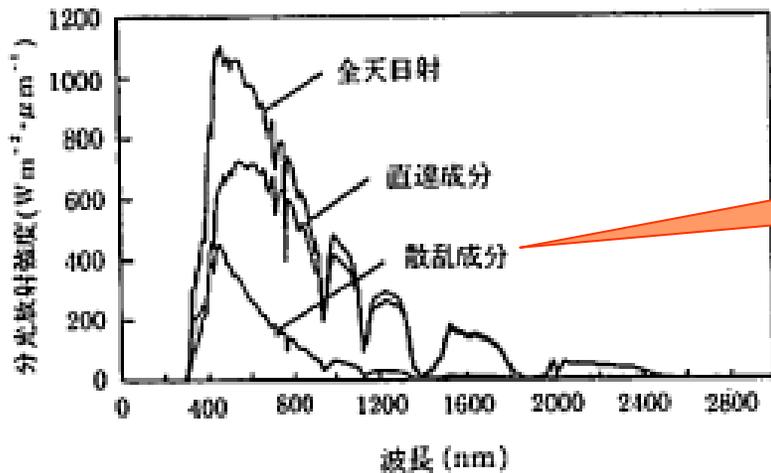
# 太陽熱吸収特性の計算結果

sample name	N1	N10	N16	G4	G5	G15
Avis	0.487	0.775	0.795	0.271	0.297	0.849
Asol	0.449	0.620	0.773	0.280	0.302	0.592
Asol-S	0.444	0.609	0.772	0.280	0.302	0.576
Asol-SE	0.442	0.606	0.772	0.280	0.302	0.572
Asol-E	0.439	0.601	0.772	0.279	0.302	0.565



# 時刻に依存したスペクトル分布

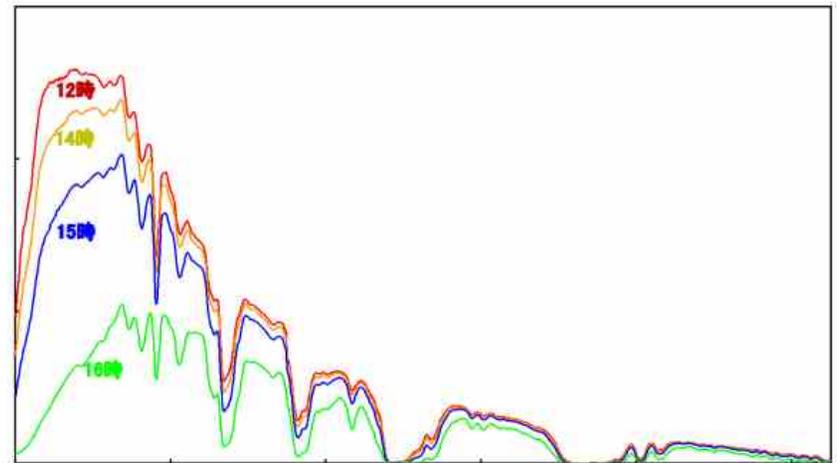




散乱成分の分光強度  
を気象データから？

図1・2・14 地表での直達日射、散乱日射のスペクトル分布の例  
計算条件：エアマス=2,  $O_3=0.32\text{cm(NTP)}$ , 可降水量=142cm,  $\alpha=0.27(500\text{nm})$ ,  $\beta=0.27$ , アルベド=0.2

太陽エネルギー利用ハンドブックより



豊橋技術科学大学HPより

# タイルの分光測定

- 色の距離や方向と太陽光吸収率との相関は、可視光反射率と太陽光吸収率との相関ほど強いものではない。⇒太陽光吸収率を制御しつつ、タイルの色の選択はある程度可能である。
- 太陽の高度、方位を考慮した太陽熱吸収特性は、壁の方位に依存するタイルと依存しないものがある。⇒分光反射率から説明できる。