

立命館大学におけるコンターマップ推定法による発電量予測の取組

立命館大学
峯元高志



目次

RITSUMEIKAN

- ✓ 立命館@草津のPVシステム, 屋外環境
立命館データの基礎, 経緯
2. コンターマップ(発電性能vsスペクトルvs温度)
PV種ごとの発電特徴が一目でわかる
3. 公的データを用いた発電量予測
専門的な環境データを用いずに発電量推定(?)
4. まとめ

PV system

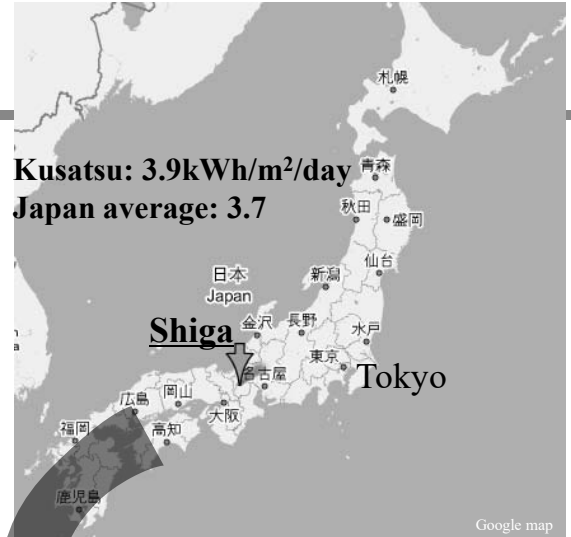
RITSUMEIKAN



PV System

Kusatsu, Shiga, Japan

Azimuth : due south
Tilt angle: 15.3°
Longitude : 135°57'E
Latitude : 34°58'N



Kusatsu: 3.9kWh/m²/day
Japan average: 3.7

Google map

	sc-Si	mc-Si	a-Si	a-Si/ μ c-Si (tandem)	a-Si/a-SiGe /a-SiGe (3 stack)
Capacity [W]	5160	5076	1980	1125	1024
Number of module	40	36	66	30	16
Area [m ²]	39	39	29	12	13
Efficiency [%]	13.4	13.0	6.8*	9.3*	5.9

First modules were installed in 1998.

*capacity/area (Data from supplier was not available)

RITSUMEIKAN

Parameters for PV and environment

PR(Performance Ratio)

Index for PV output

$$PR (\%) = \frac{\text{Output Energy (W)}}{\text{Irradiance(W/m}^2) \times \eta_{\text{nominal}} \times \text{Area(m}^2)} \times 100$$

If actual output is equal to rated capacity, then PR is 100 %.

T_{mod}

Module temperature

Irr

Irradiance

T_{mod} of back side of module is measured by TC.

Parameter for spectrum

$$APE = \frac{\int I_{\lambda} d\lambda}{q \int \phi_{\lambda} d\lambda}$$

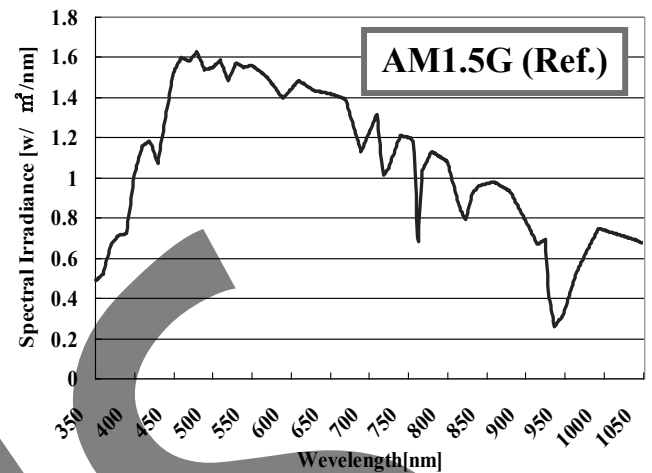
I_{λ} is the spectral irradiance ($W/m^2/nm$)

Φ_{λ} is the spectral photon flux density ($s/m^2/nm$)

Ref. S. Williams, T. Betts, T. Helf, R. Gottschalg, H. Beyer and D. Infield, Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (Osaka, Japan, 2003) pp. 1908-1911.



Measurement system: MS-700(350~1050nm)



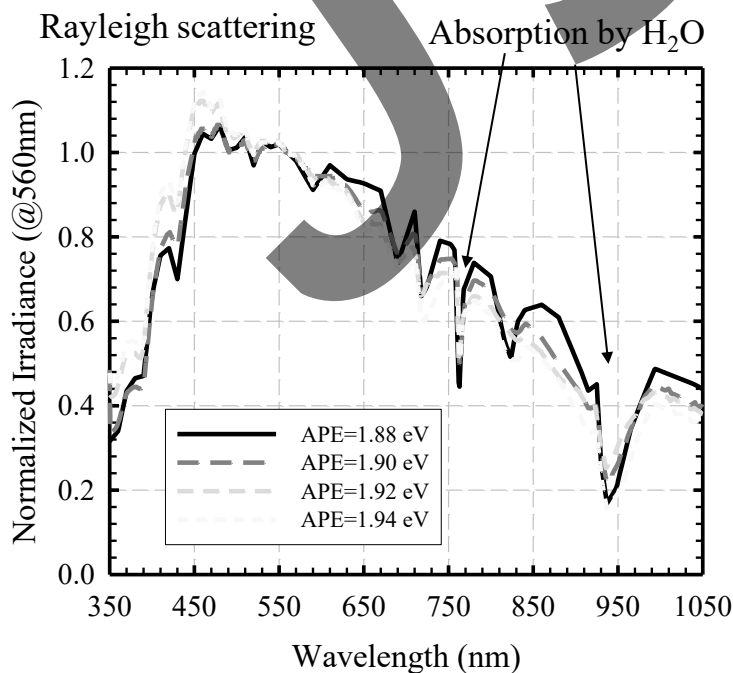
APE=1.88eV

APE > 1.88eV ⇒ blue-rich

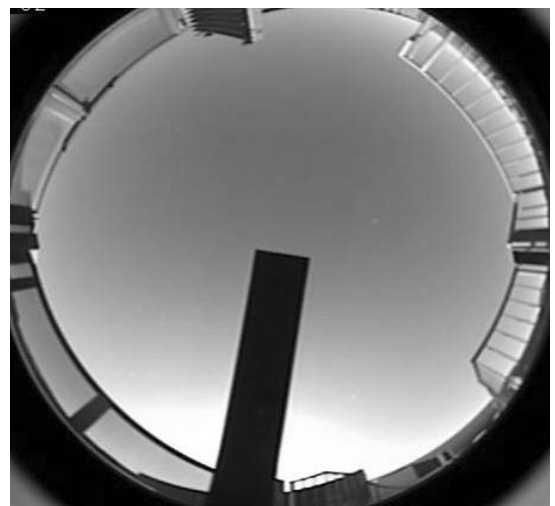
APE < 1.88eV ⇒ red-rich

Example of APE

- ✓ Absorption by H_2O at 940 nm → High APE
- ✓ High AM (dawn and dusk) → Scattering of blue light → Low APE



Winter clear sky at noon (APE=1.90eV)

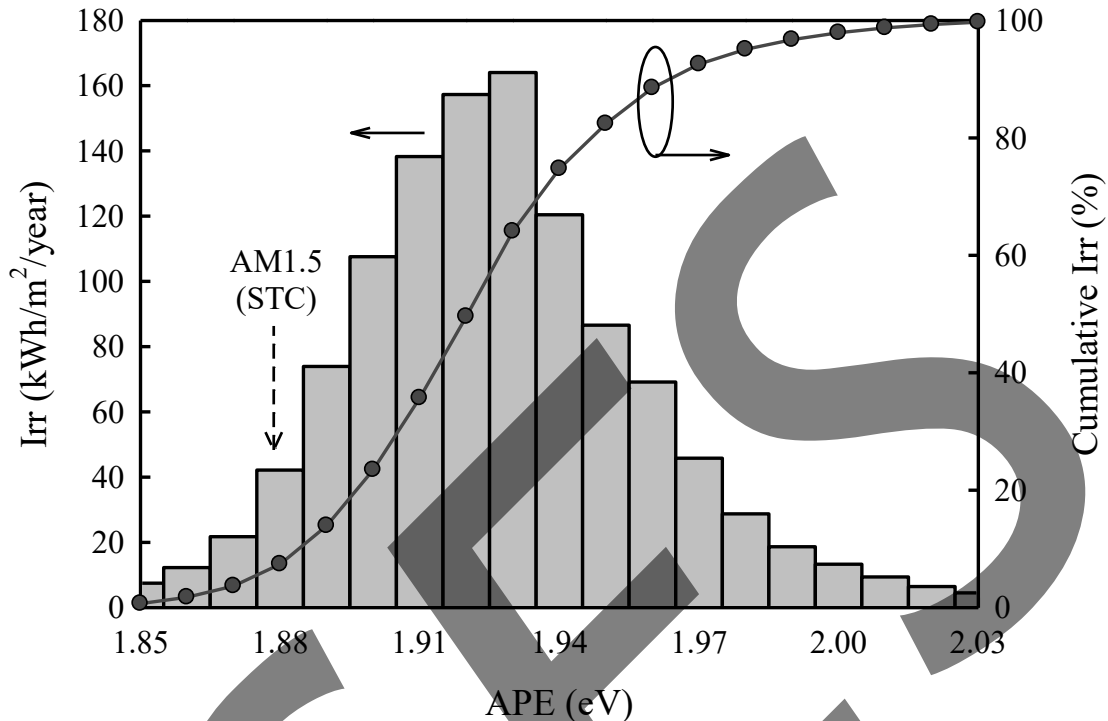


APE in Kusatsu, Japan

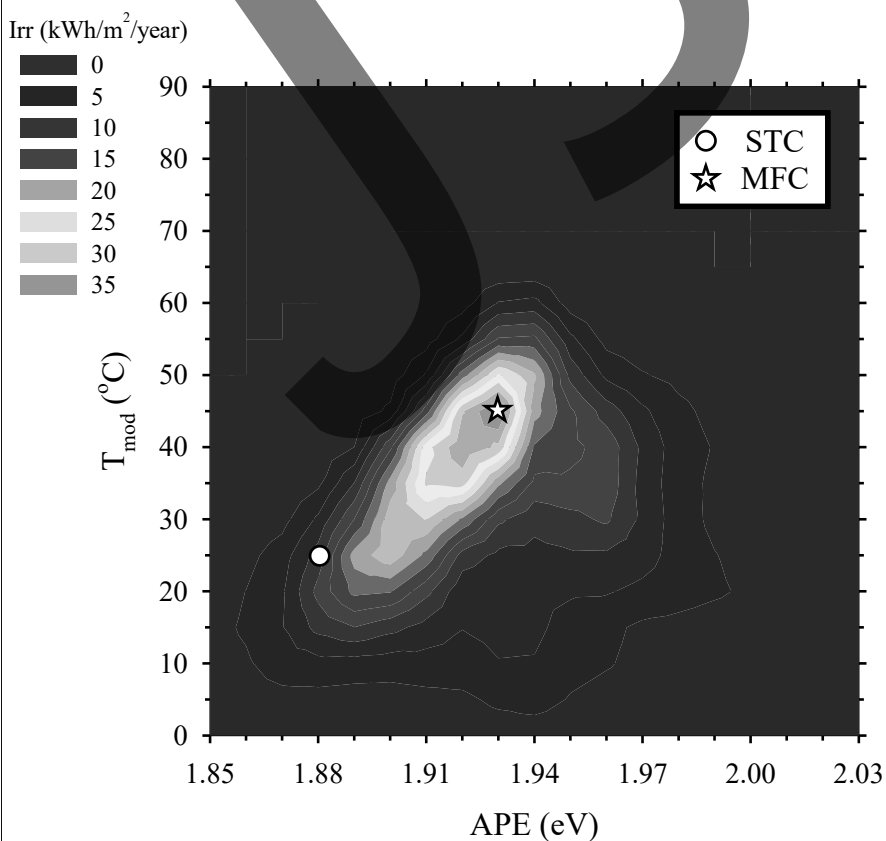
92.6% of total solar spectrum is **BLUE-RICH**
 Instant Irr > 0.001 kW/m²

Data points: >80,000

Data: 2004/5/1-2007/4/30



Rate of STC(APE, T) at outdoor



3year accumulation data
 of irradiance of mc-Si PV
 module

Irr@T_{mod}:25 ± 2.5°C...
 11.09%

Irr@APE:1.88 ± 0.5eV...
 3.734%

Irr@25°C&1.88eV(STC)...
 0.7630%

Irr@45°C&1.93eV(MFC)...
 3.1686%

Short summary (1)

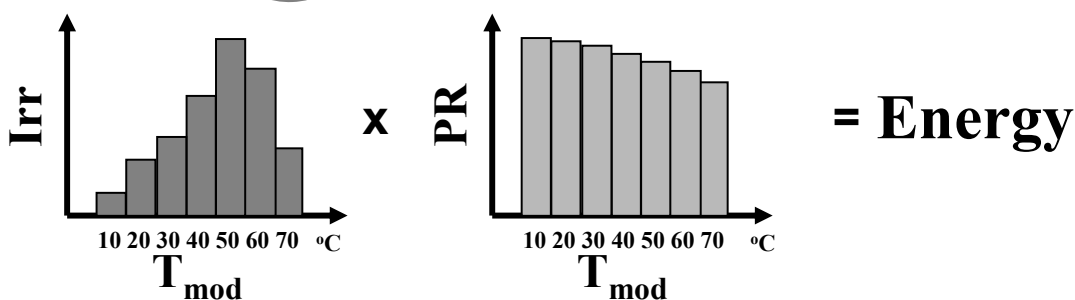
- ①立命館では1998年から結晶シリコン系、薄膜シリコン系のPVシステムの計測を行っている。
- ②滋賀県草津市の太陽光スペクトルは9割程度が基準太陽光に比べブルーリッチ。
- ③滋賀県草津市では、標準状態に対応する温度・スペクトルを満たす屋外環境はほぼ出現しない(<1%)。

How to calculate output energy? RITSUMEIKAN

INPUT		POWER		OUTPUT
Irr	x	PR	=	Energy
For 1kW system... 1300 kWh/m ²	x	80 %	x 1 m ²	1040 kWh

If PR is sensitive to T_{mod} ...

$$\sum_{T_{mod}} \{Irr(T_{mod}) \times PR(T_{mod})\} = \text{Energy}$$

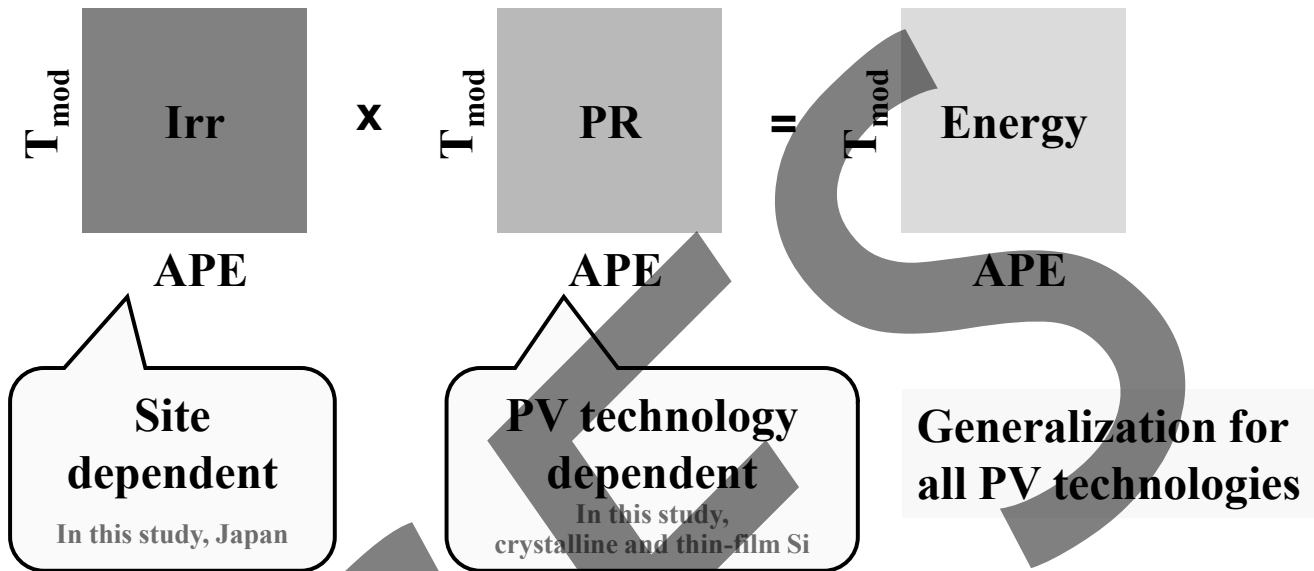


This is almost good for c-Si

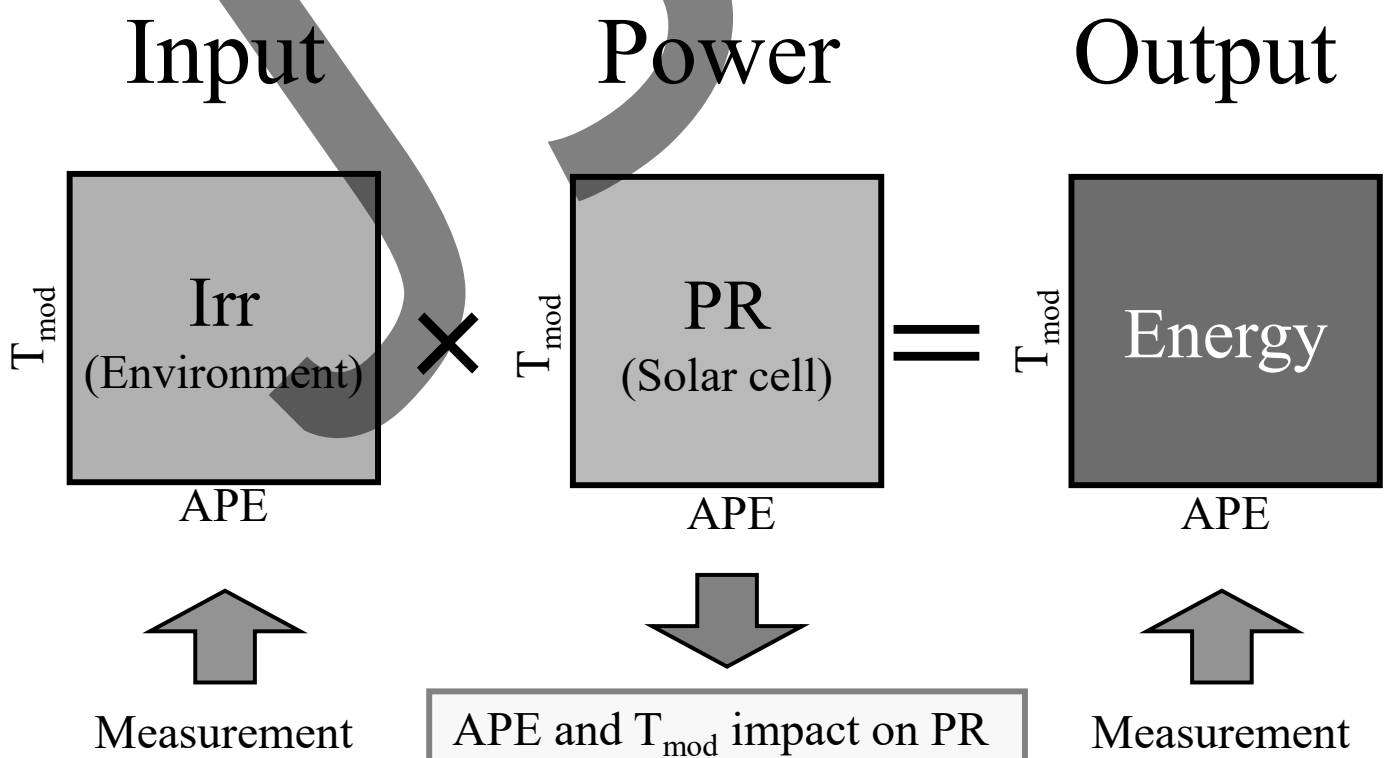
How to calculate output energy? RITSUMEIKAN

As defined in STC, if PR is sensitive to both T_{mod} and APE

$$\sum_{T_{mod}, APE} \{Irr(T_{mod}, APE) \times PR(T_{mod}, APE)\} = \text{Energy}$$

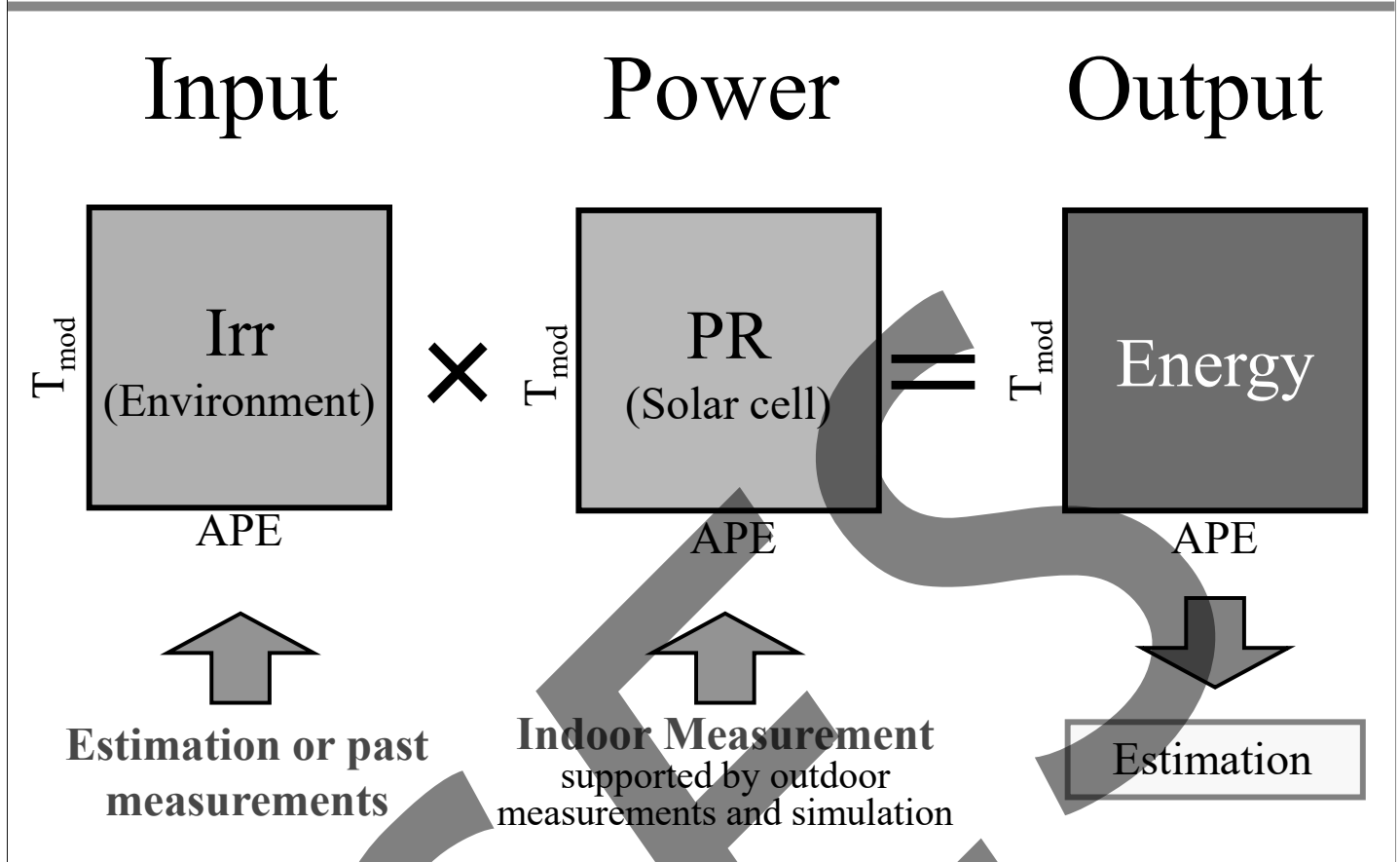


Clarify output performance of PVs RITSUMEIKAN



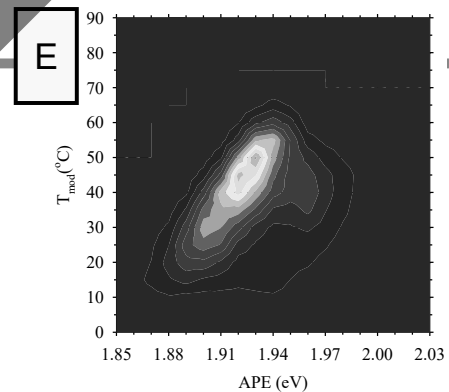
PR map is also useful to understand degradation.

Energy estimation by contour maps

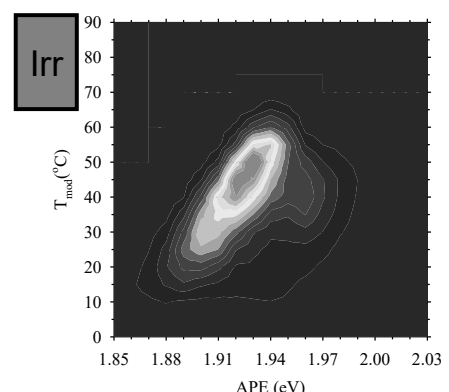
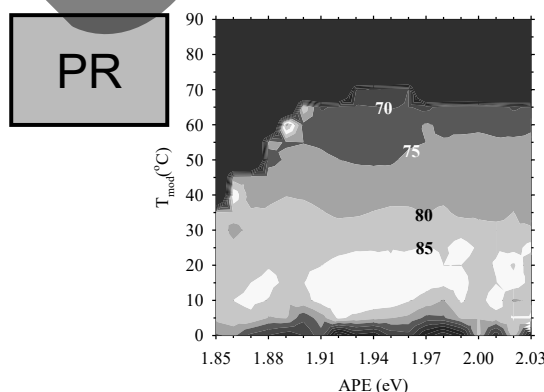


How to create contour plots

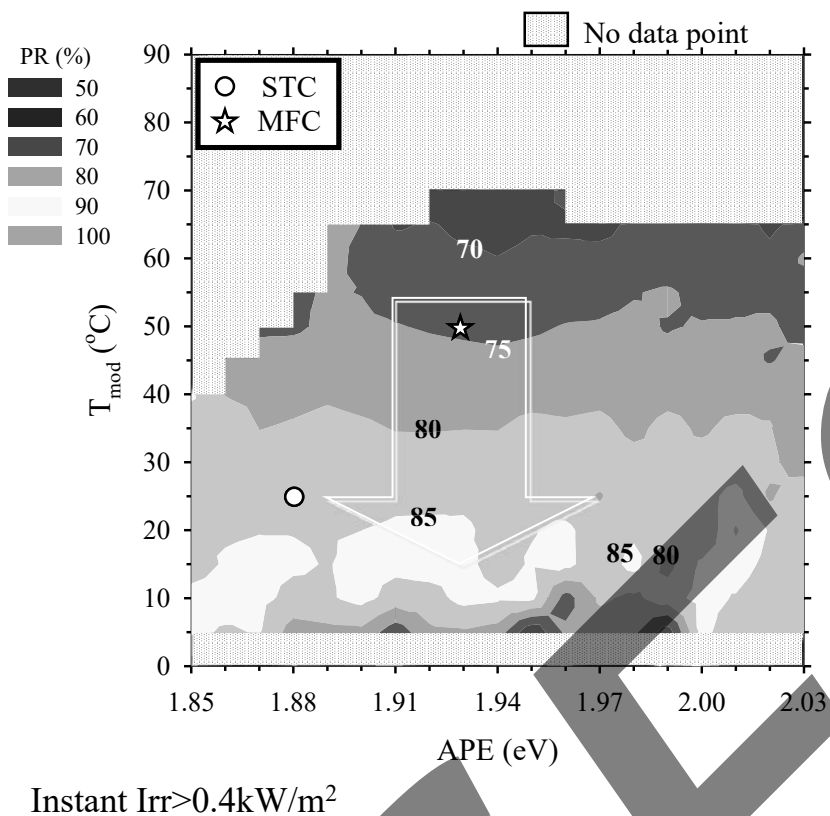
1. Prepare 2D array (Energy and Irr vs T_{mod} and APE)
2. Obtain every one minute data set (Energy, Irr, T_{mod} and APE)
3. Add the data to corresponding element
4. Repeat 2. and 3. for data period
5. Obtain PR for each element by dividing energy by Irr.



\div



PR vs T_{mod} vs APE (sc-Si)



PR depends on T_{mod}

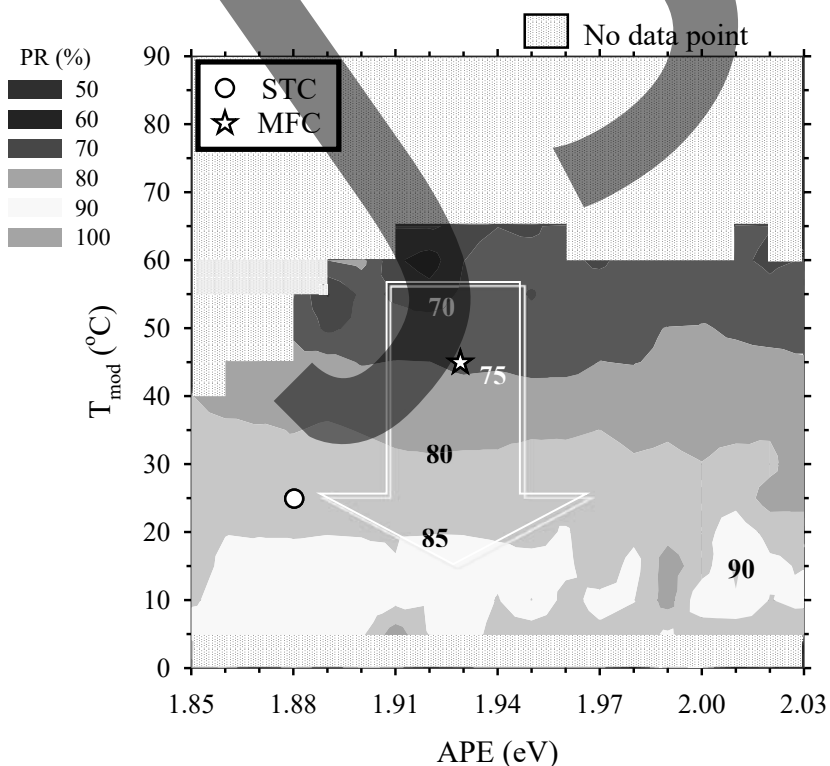
Low T_{mod} → high PR

PR@STC(83.49%)

> PR@MFC(74.24%)

Outdoor performance is **LOWER**
than the performance rated under
STC.

PR vs T_{mod} vs APE (mc-Si)



PR depends on T_{mod}

Low T_{mod} → high PR

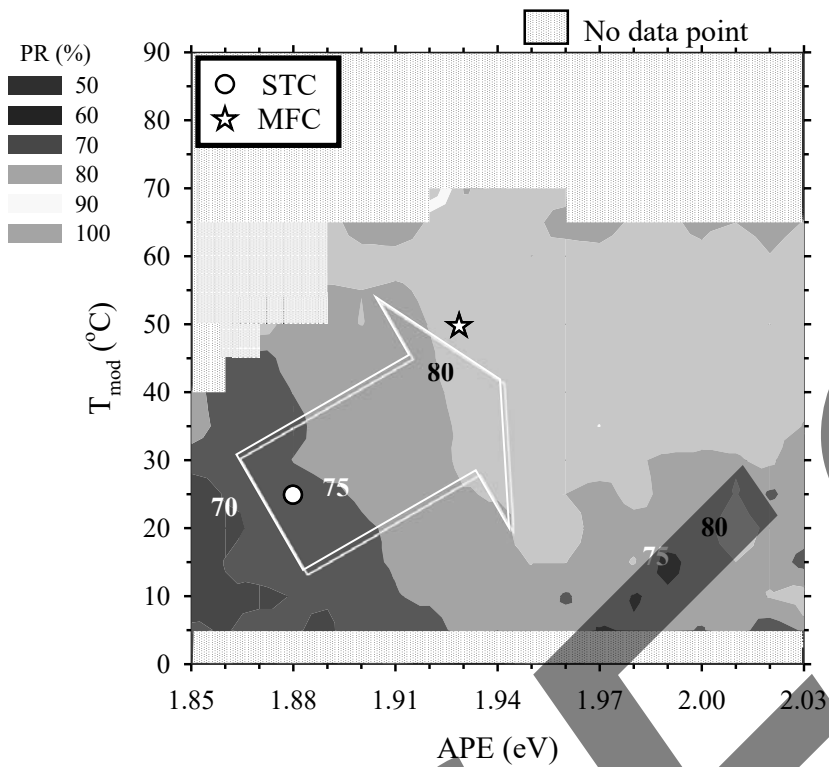
PR@STC(83.68%)

> PR@MFC(74.20%)

Outdoor performance is **LOWER**
than the performance rated under
STC.

PR vs T_{mod} vs APE (a-Si)

RITSUMEIKAN



PR depends on
 T_{mod} & APE

Middle T_{mod} & High APE
→ high PR

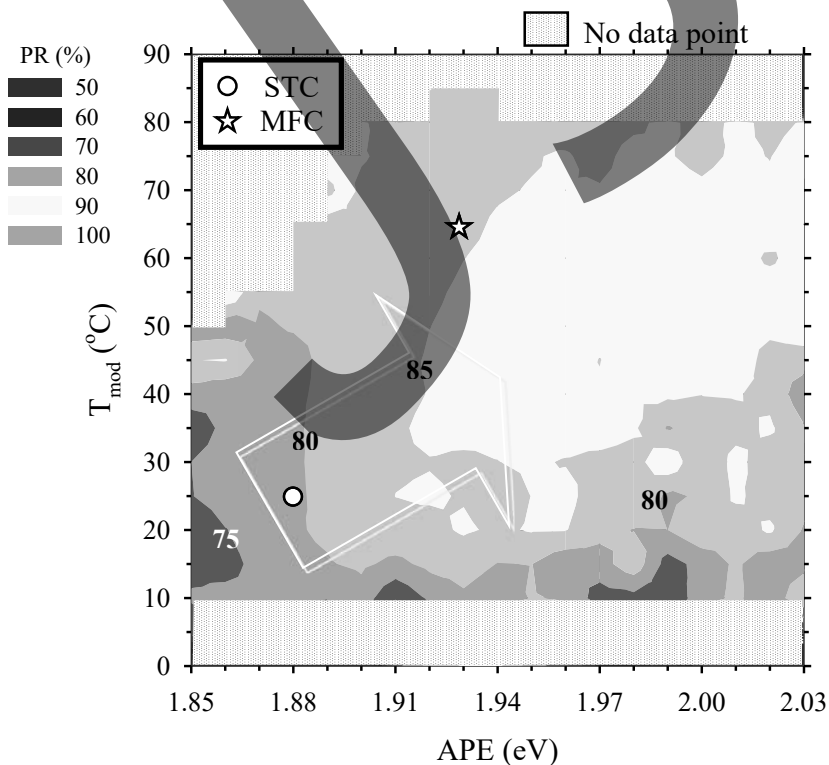
PR@STC(73.27%)
< PR@MFC(81.28%)

Outdoor performance is
HIGHER than the performance
rated under STC, which is
reverse tendency to c-Si!

Is STC good for standard?

PR vs T_{mod} vs APE (a-Si/ μ c-Si)

RITSUMEIKAN



PR depends on
 T_{mod} & APE

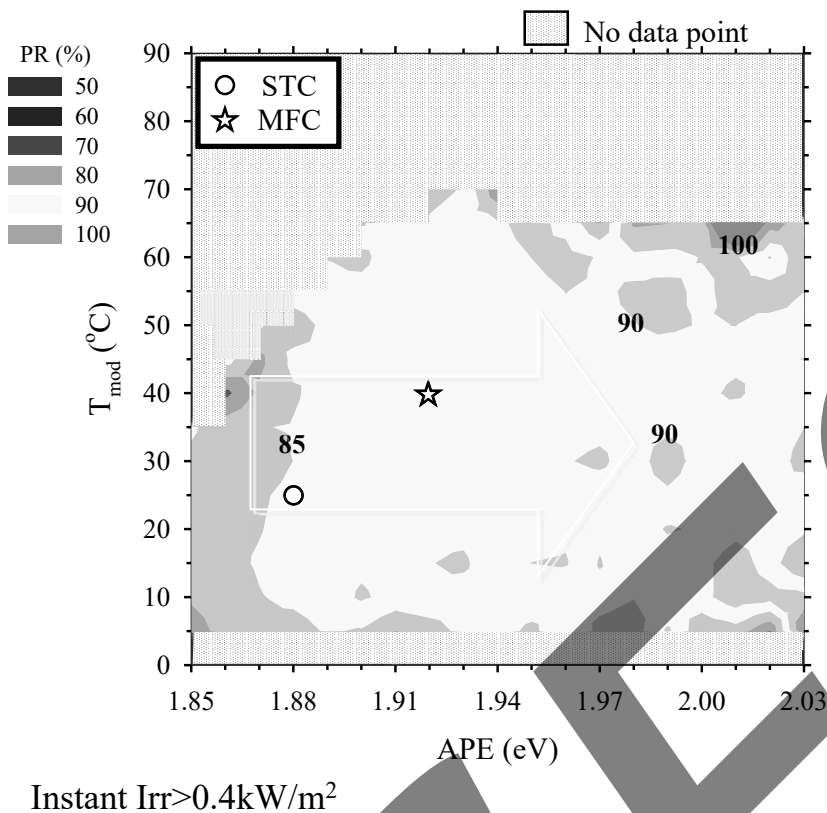
Middle T_{mod} & High APE
→ high PR

PR@STC(79.23%)
< PR@MFC(83.88%)

Outdoor performance is
HIGHER than the performance
rated under STC, which is
reverse tendency to c-Si!

Is STC good for standard?

PR vs T_{mod} vs APE (3stack)



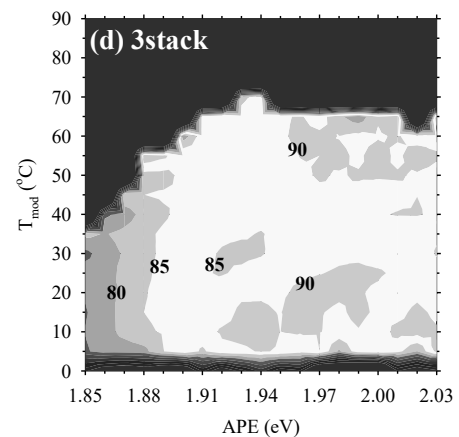
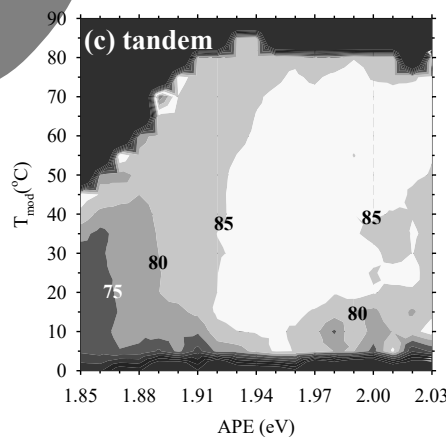
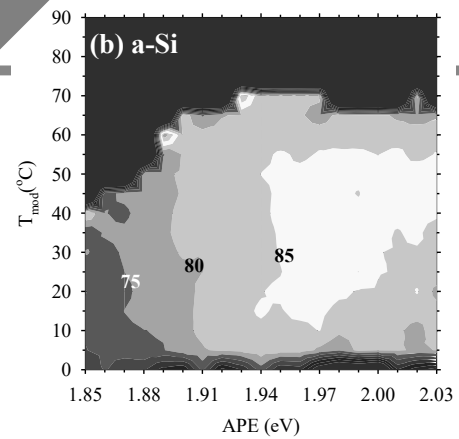
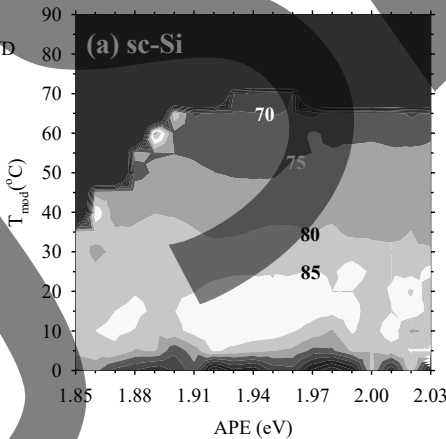
PR slightly depends on APE

PR@STC(86.23%)
 < PR@MFC(86.89%)

STC is good for this case.

PR map comparison

PR (%)
 <70 or N/D
 80
 90
 100



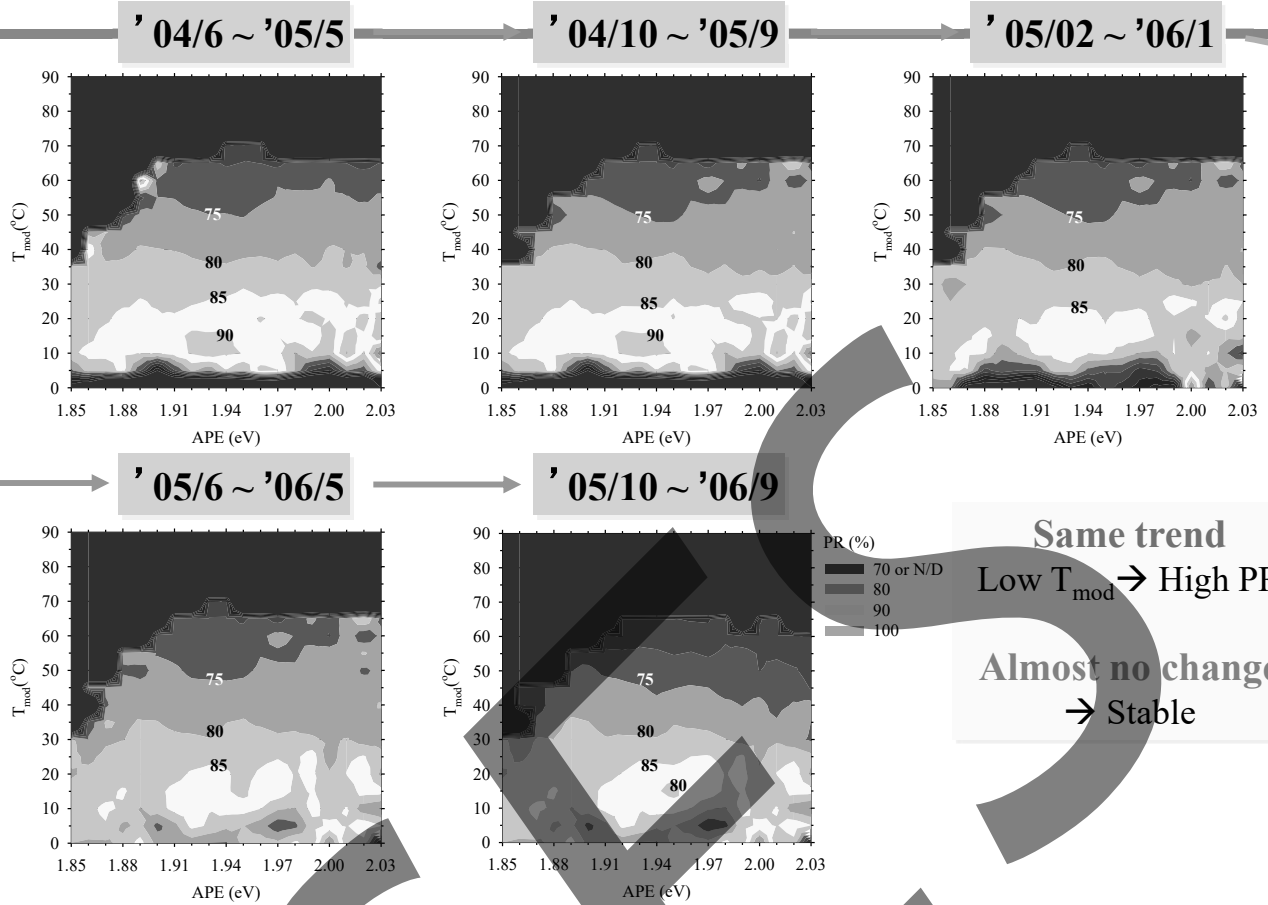
Bulk
 T_{mod} dependence

Thin-film
 APE dependence

Temporal transition (sc-Si)

RITSUMEIKAN

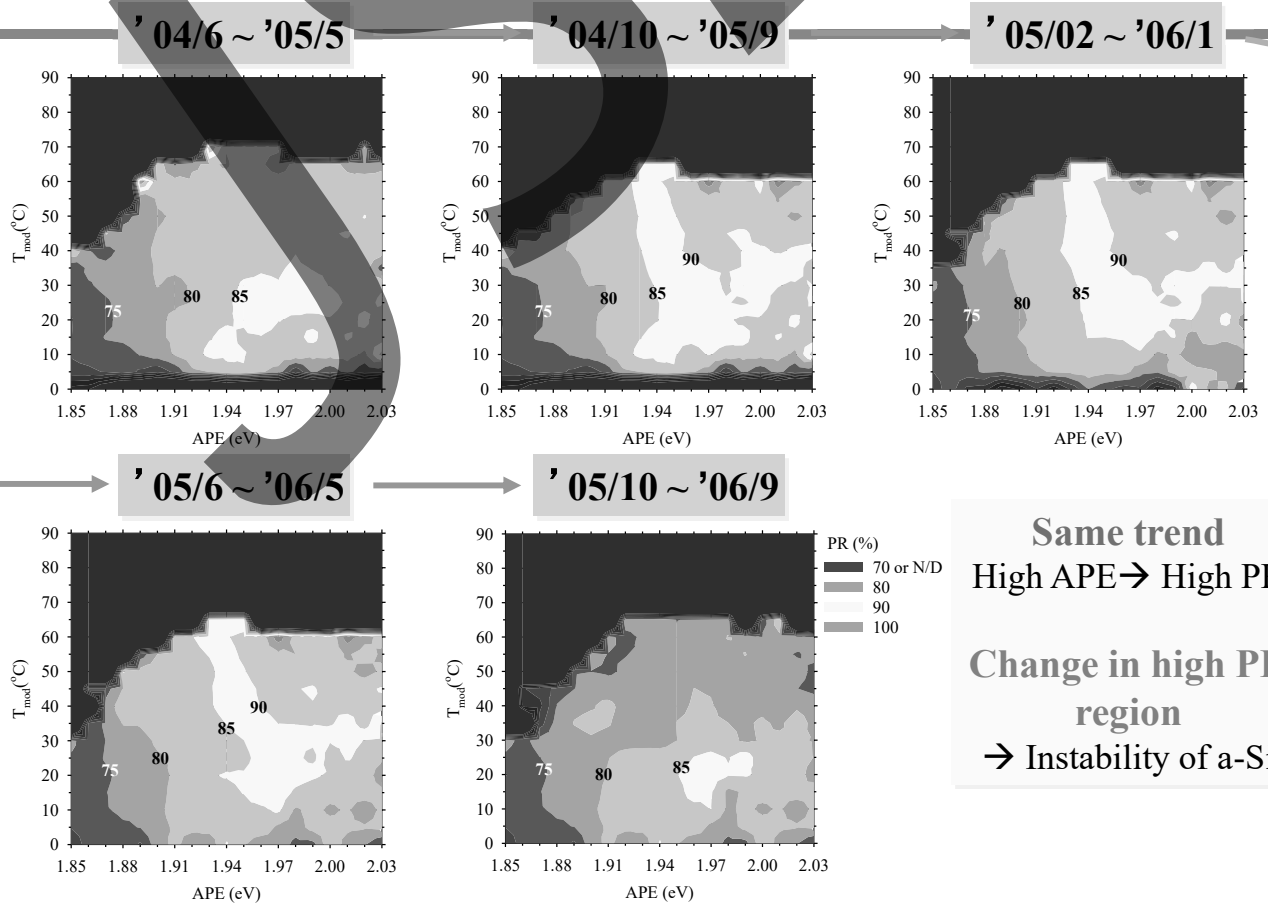
Data period: 1 year, Starting date: 4 months shift



Temporal transition (a-Si)

RITSUMEIKAN

Data period: 1 year, Starting date: 4 months shift

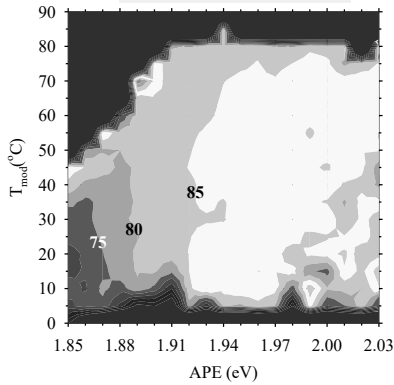


Temporal transition (a-Si/ μ c-Si)

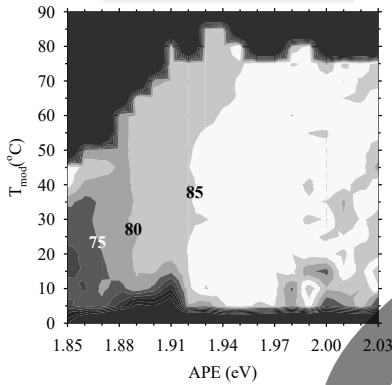
RITSUMEIKAN

Data period: 1 year, Starting date: 4 months shift

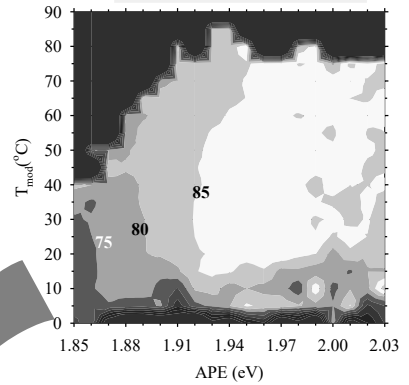
'04/6 ~ '05/5



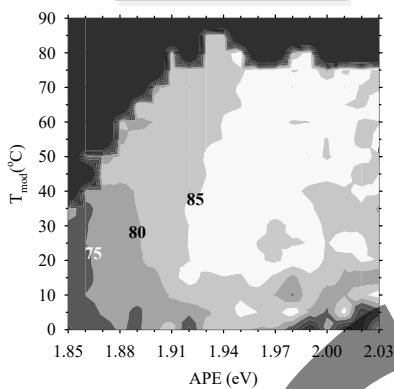
'04/10 ~ '05/9



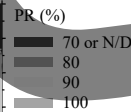
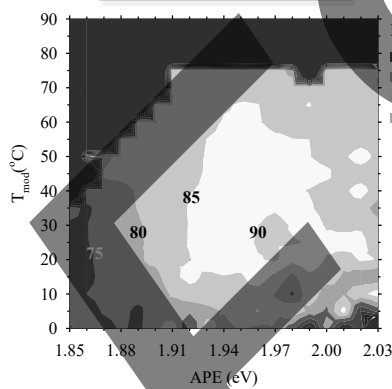
'05/02 ~ '06/1



'05/6 ~ '06/5



'05/10 ~ '06/9



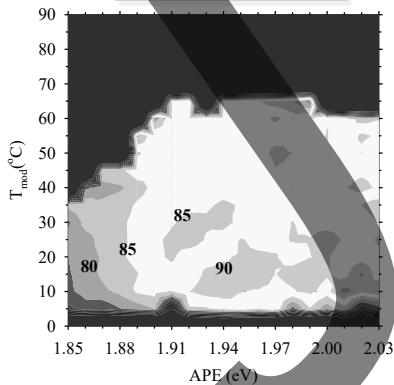
Same Trend
High APE \rightarrow High PR
Smaller change than a-Si single
 \rightarrow Stable
 \rightarrow Thinner a-Si layer

Temporal transition (a-Si/a-SiGe/a-SiGe)

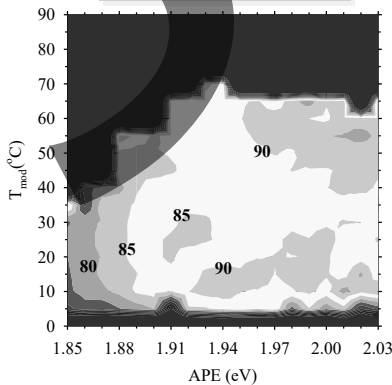
RITSUMEIKAN

Data period: 1 year, Starting date: 4 months shift

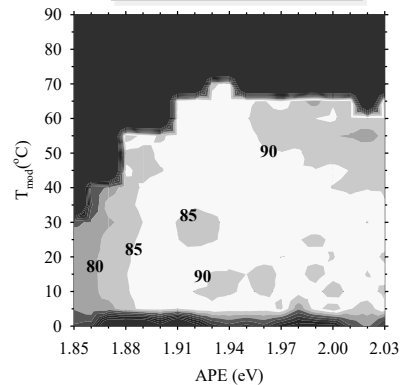
'04/6 ~ '05/5



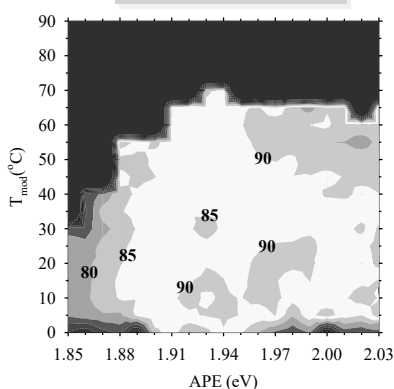
'04/10 ~ '05/9



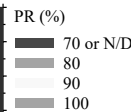
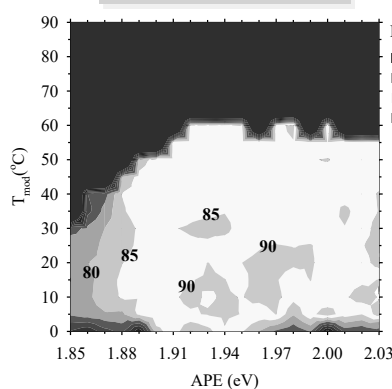
'05/02 ~ '06/1



'05/6 ~ '06/5



'05/10 ~ '06/9



Same Trend
High APE \rightarrow High PR
Almost no change
 \rightarrow Stable
 \rightarrow Thinner a-Si layers

Short summary (2)

- ①PRマップで、各種太陽電池のスペクトル・温度依存性が一目でわかる。
- ②結晶シリコン系は主に温度、薄膜シリコン系は主にスペクトルに影響を受ける。
- ③PRマップの時間推移を見れば、劣化度合いがわかる。
→劣化メカニズムがわかる？
- ④PRマップがわかり(測定でき)、Irrマップがあれば(予想?過去のデータ?)、エネルギーマップが得られる。
→発電量予測(と検証)が可能
- ⑤PRマップの軸がAPEと T_{mod} なので、一般的なデータではない。
→公的データ(気象台データ)とリンクしたい→次のトピック

目次

✓立命館@草津のPVシステム, 屋外環境
立命館データの基礎, 経緯

2. コンターマップ(発電性能vsスペクトルvs温度)
PV種ごとの発電特徴が一目でわかる

3. 公的データを用いた発電量予測
専門的な環境データを用いずに発電量推定(?)

4. まとめ

Details published in SE.



Available online at www.sciencedirect.com
SciVerse ScienceDirect

Solar Energy 93 (2013) 90–99

SOLAR ENERGY

www.elsevier.com/locate/solener

Estimation of global tilted irradiance and output energy using meteorological data and performance of photovoltaic modules

Shota Yoshida, Seiya Ueno, Naoya Kataoka, Hideyuki Takakura, Takashi Minemoto*

College of Science and Engineering, Ritsumeikan University, 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

Received 16 January 2013; received in revised form 1 April 2013; accepted 2 April 2013

Communicated by: Associate Editor Jan Kleissl

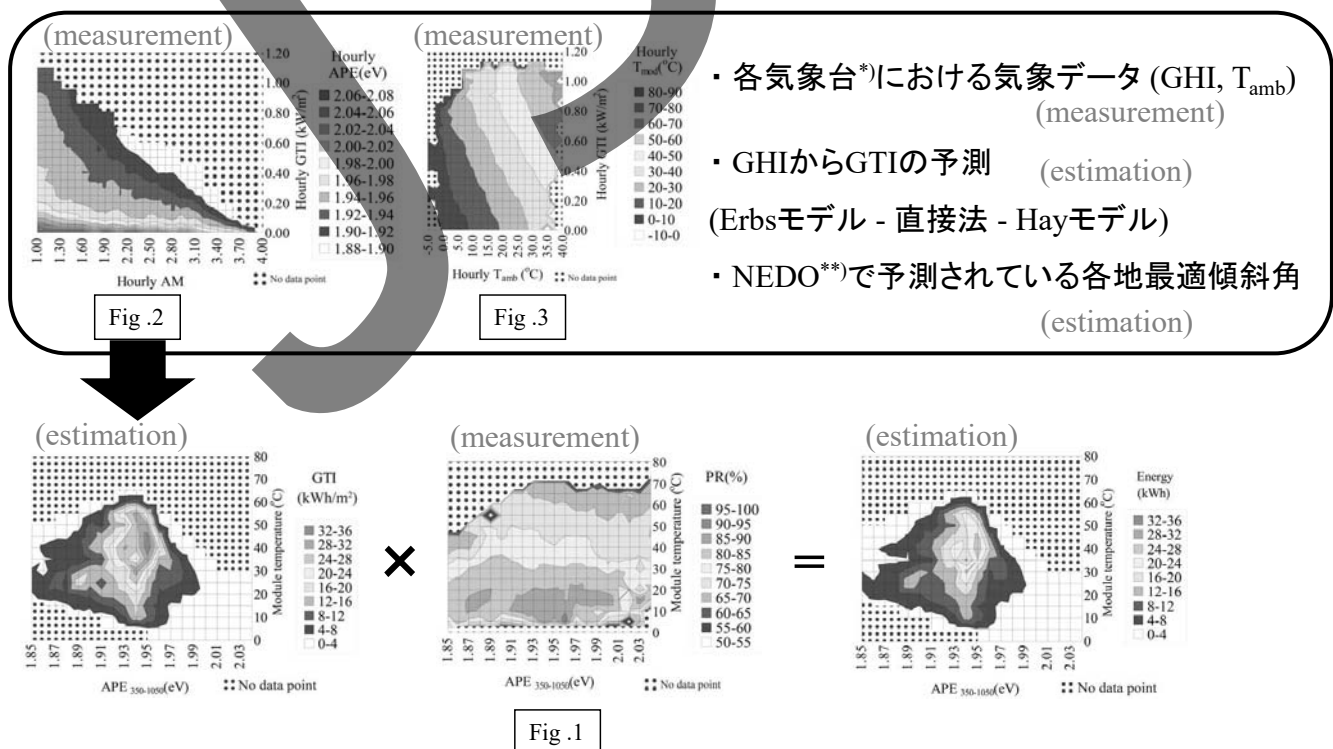
Abstract

The nationwide output energies of photovoltaic (PV) modules were estimated using the meteorological data in the Japan Meteorological Agency (JMA) and the performance of PV modules. Global tilted irradiance (GTI) is needed to estimate the output energy of PV modules. However, the available measured data are typically restricted to global horizontal irradiance (GHI) in the JMA. In this study, GTI was estimated from GHI using the separation methods. The optimum installation angle estimated using the software released by New Energy and Industrial Technology Development Organization was used as a tilt angle at each location. The output energies of four PV modules (multicrystalline silicon, amorphous Si, a-Si/microcrystalline silicon tandem, and a-Si/a-SiGe/a-SiGe triple junction) were estimated. Nationwide output energies in Japan were estimated using the performance of each PV module and estimated GTI. The output energies were estimated considering module temperature and solar spectrum distribution. The results indicate that the method of using performance and meteorological data is useful for estimating the output energies of the PV modules around Japan. © 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Meteorological data; Global tilted irradiance; Output energy; Energy rating; Module temperature; Solar spectrum distribution

発電量予測方法

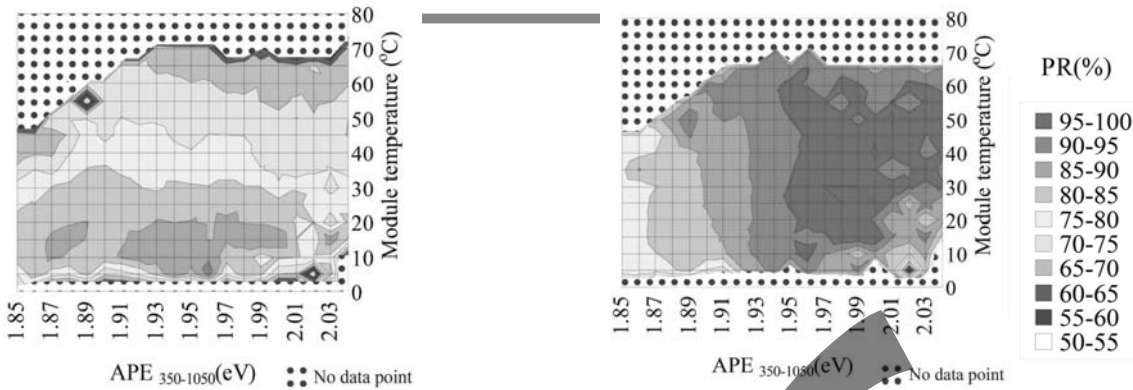
GHI: Global Horizontal Irradiance
 GTI: Global Tilted Irradiance
 T_{amb} : Ambient temperature



*) 気象庁 URL <<http://www.jma.go.jp>>, **) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 URL <<http://www.nedo.go.jp>>

PR mapによる太陽電池性能解析

T_{mod} : Module temperature



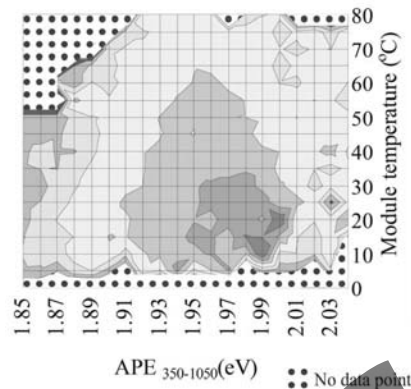
(a) mc-Si : multicrystalline Silicon

(b) a-Si : amorphous Si

Fig.1 PR map (APE - T_{mod})

mc-Si ⇒ 温度(T_{mod})の影響、
a-Si, tandem ⇒ 太陽光スペクトル分布(APE)の影響を強く受ける

各種PVの性能が分かる



(c) tandem : a-Si/μ-Si

気象データと環境因子データの相関性

草津サイト (2006-2011)のデータから解析

AM : Air mass

T_{amb} : Ambient temperature

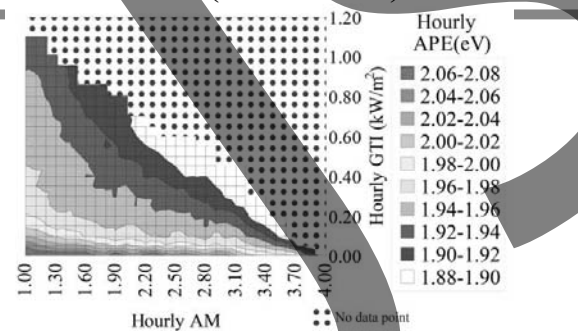


Fig.2 APE map (AM - GTI)

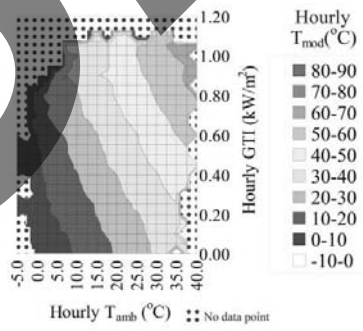


Fig.3 T_{mod} map (AM - GTI)

立命館でAPEとAM-GTIの相関、 T_{mod} と T_{amb} -GTIの相関を解析

気象台のGHIからGTIを求めて、AMと T_{amb} からAPEと T_{mod} を求めて、その点にGTIをプロットして、各地のGTIマップを作成。

全国で用いるために、近似式を算出

$$APE = 1.946 \times AM^{-0.043} \times GTI^{-0.003} \times AM^{-0.012}$$

$$T_{mod} mc-Si = GTI(0.278 \times T_{amb} + 17.41) + 0.955 \times T_{amb} + 1.242$$

気象庁で公開されている気象データを用いて

全国各地の環境因子データを予測

※気象庁では、水平面日射量や気温などが1時間毎に測定されている

全国約50地点

※水平面日射量が公開されている地域

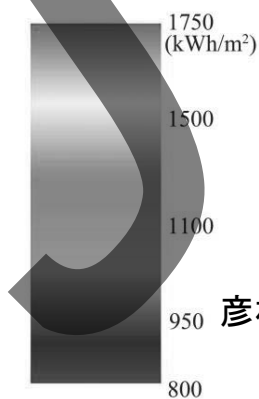
- ⊗ Meteorological agency
- ⊗ Our PV system



最適設置角度によるGTI

※NEDOの公表値により傾斜角を算出
5年間(2007-2011)のデータの平均

稚内 32.1° GTI: Global Tilted Irradiance



福岡 26.1°

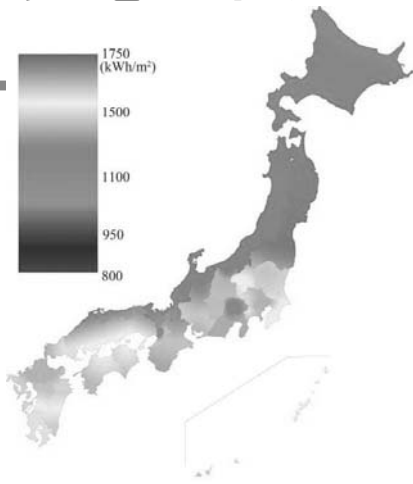
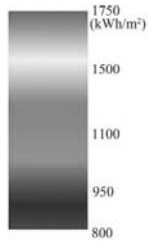
彦根 27.0°

那覇 17.6°

おおよそ、緯度が高くなるにつれて傾斜角が高くなるように設定

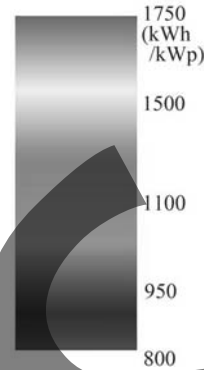


発電量予測

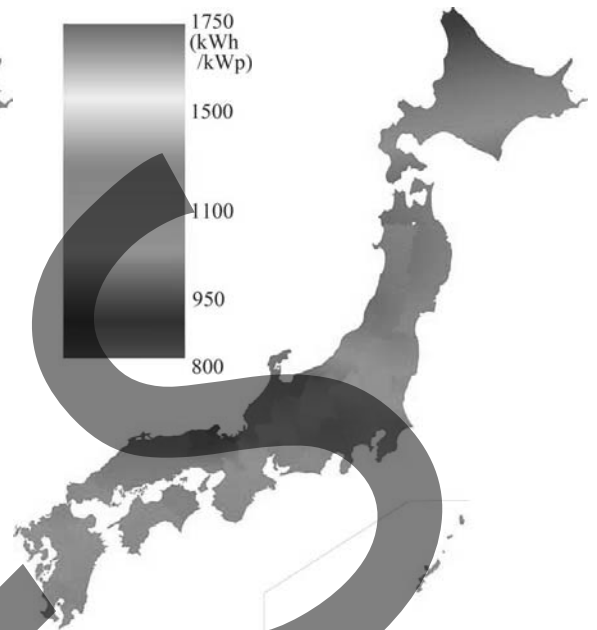


GTI

- ・発電量は日射量に依存
- ・モジュールによって増減の変化が異なる



mc-Si



tandem

Short summary (3)

- ① 公開されている気象データとAPEと T_{mod} の相関を解析した。
(APEとAM・GTI、 T_{mod} と T_{amb} ・GTIの相関を求めた。)
- ② ①の関係から、日本各地のIrrマップを作成した。
- ③ ②に草津サイトのPRマップを掛けることで、日本各地のエネルギーを(一応)得た。

検討中の課題

各地での検証(各地で信頼の置けるデータが必要)

- ・APE(AM-GTI)と T_{mod} (T_{amb} -GTI)の相関がどこでも同じか。
- ・PRマップがどこでも同一か(PRマップはUniversalか)。

PRマップの環境範囲の拡張(滋賀では氷点下や高温のデータはほぼない)。

PRマップの劣化を考慮。

目次

✓ 立命館@草津のPVシステム, 屋外環境

立命館データの基礎, 経緯

2. コンターマップ(発電性能vsスペクトルvs温度)

PV種ごとの発電特徴が一目でわかる

3. 公的データを用いた発電量予測

専門的な環境データを用いずに発電量推定(?)

4. まとめ

Summary

①立命館では1998年から結晶シリコン系、薄膜シリコン系のPVシステムの計測を行っている。

②滋賀県草津市では、標準状態に対応する温度・スペクトルを満たす屋外環境はほぼ出現しない(1%)→STCって？

③PRマップで、各種太陽電池のスペクトル・温度依存性が一目でわかる。(結晶シリコンは温度、薄膜シリコン系はスペクトル依存)

④PRマップがわかり(測定でき)、Irrマップがあれば(予想?過去のデータ?)、エネルギーマップが得られる。

→発電量予測(と検証)が可能

*ただし、各地の測定データによる検証(複数機関との連携が必須!)やシミュレーションによる理論付けが必要