

# サンプルエントロピーを用いた日射量の変動の評価

\* 渡邊 武志 (東海大) 高松 尚宏 (慶應義塾大) 志田 宇信 (慶應義塾大)  
大森 浩充 (慶應義塾大) 中島 孝 (東海大)  
E-mail: nabeta@tokai-u.jp

## 1. Introduction

将来、持続可能な社会を構築するためには、**再生可能エネルギーの最大限の導入が必要**である。もっとも注目されるものの1つとして、太陽光を利用したエネルギーシステム(太陽光発電、太陽熱)があげられる。**太陽光エネルギー**を利用する際に最も注意を払わなければならない特徴は、地上における日射量の**様々な時間及び空間的スケールの変動の顕著さ**である。急激に変化する日射量の変動は**太陽光発電システムの制御や予測精度**に影響を与える。このような変動は非常に複雑であるために、**再生可能エネルギーを大量導入された際に電力網の安定運用へ大きく影響**をする。本研究では、地上観測日射量を対象としたサンプルエントロピーを用いた解析を行い、日射量の変動の特徴を調べた。

## 3. Sample entropy

Sample entropy: 時系列データの複雑性(Complexity)を図る指標

$r, m$ をパラメータとして設定できる。

$r$ : 信号の強度に対するフィルター

$m$ : 時系列の構造に関するパラメータ

先行研究では $r=0.10\sim 0.25\times$ 標準偏差、 $m=2$ に設定されることが多い。

計算手順の例

$m=2$ とし、 $i=5$ の場合を考える。 $\mathbf{x}_2(5)$ を(●,●)で表し、それぞれの要素から $r$ の距離を同色の実線で表示する。 $j=10$ の場合(①,②)は、 $d[\mathbf{x}_m(i), \mathbf{x}_m(j)] > r$ であり、 $A_5^2(r)$ に数えられないが、 $j=13$ の場合(①,②)は数えられる。この例では $A_5^2(r) = 1$ 。

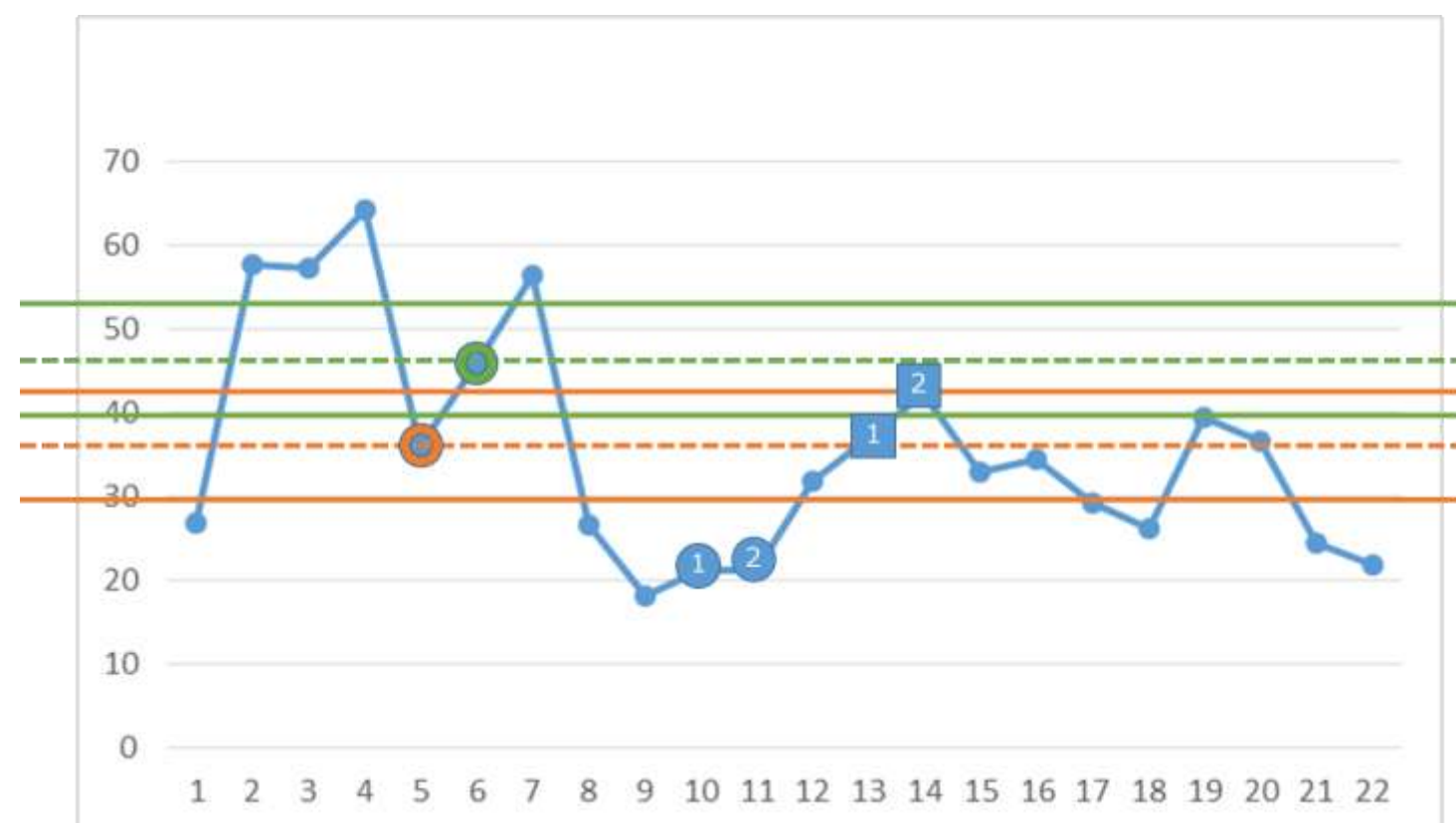
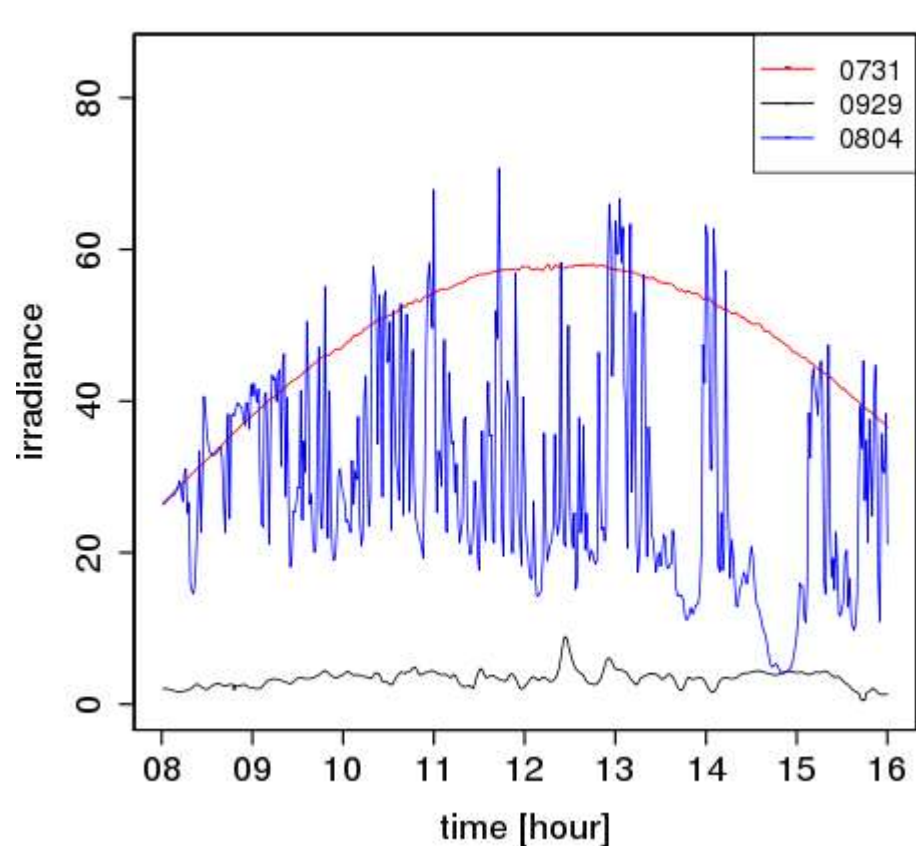


Fig. 1 熊本での全天日射量。赤線は7月31日、青線は9月29日、黒線は8月4日のもの。

## 4. Results

### 4. 1 天気の違いによるSample entropyの違い



熊本 2012年	天気	Sample Entropy		
		$r=1, m=2$	$r=3, m=2$	$r=6, m=2$
7月31日	晴天	0.0562	0.0210	0.0093
9月29日	終日曇天 (変動小)	0.0902	0.0091	0.0014
8月4日	終日曇天 (変動大)	1.2528	0.9485	0.6637

晴天時にはsample entropyは小さくなる。  
曇天には、変動の小さいときは小さく、激しく変動をするときに大きくなる。  
Sample entropyの計算時には、1日周期を取り除く必要はない。  
 $r$ と $m$ の決定方法については検討の必要あり。

### 4. 2 Sample entropyと標準偏差の比較

1日の全天日射量時系列に対する標準偏差が同じ場合

東京 2012年	標準偏差	Sample Entropy		
		$r=1, m=2$	$r=3, m=2$	$r=6, m=2$
5月10日	20.32	0.1648	0.1104	0.0715
5月28日	20.28	0.4076	0.2728	0.1556

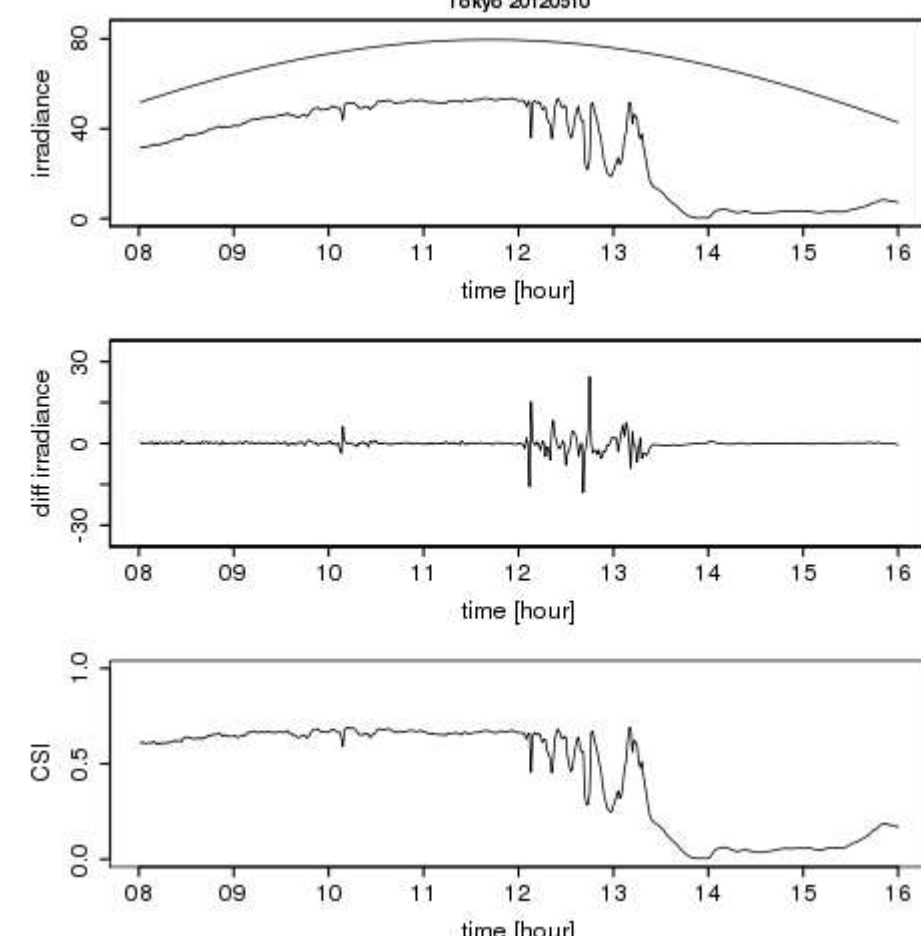


Fig. 2 2012年5月10日東京での(a)全天日射量 [kJ/m<sup>2</sup>], (b)全天日射量の階差系列, (c) Clear sky index

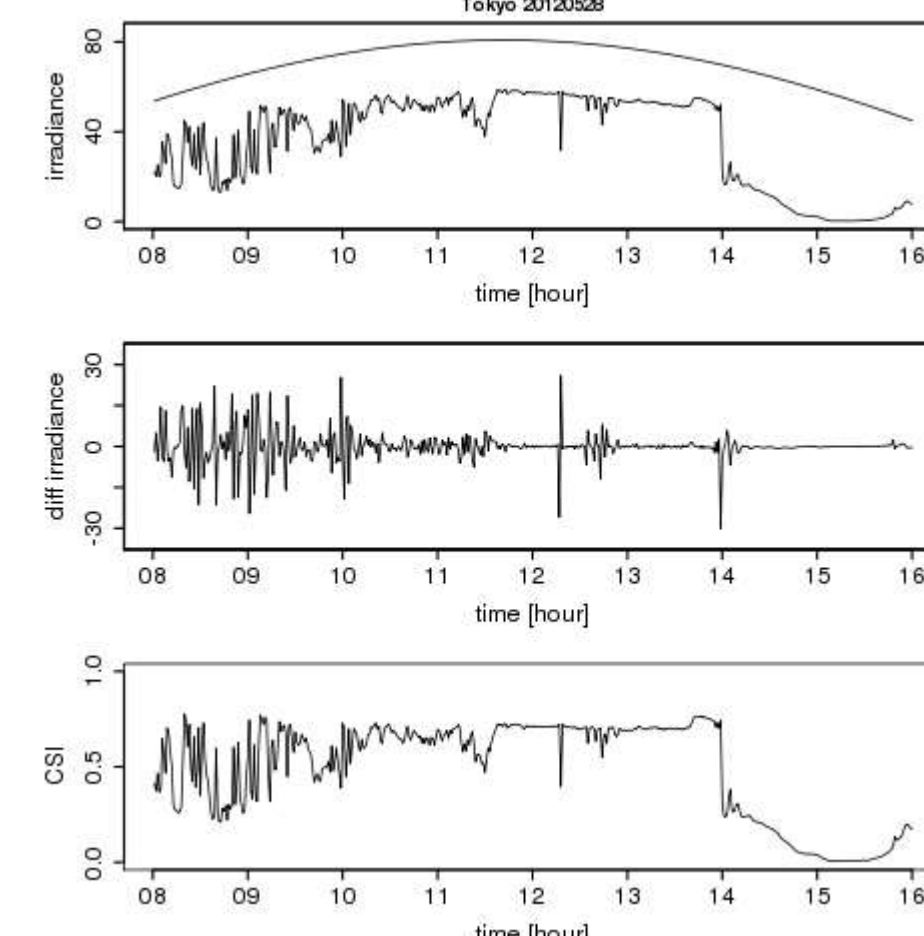


Fig. 3 Fig.2と同様。ただし、2012年5月28日に関するもの

1日のClear sky indexの時系列に対する標準偏差が同じ場合

石垣島 2012年	CSI 標準偏差	Sample Entropy		
		$r=1, m=2$	$r=3, m=2$	$r=6, m=2$
7月20日	0.1532	0.3640	0.2418	0.2072
8月7日	0.1530	0.2729	0.1063	0.0754

Clear sky index=地表面全天日射量/大気上端入射日射量

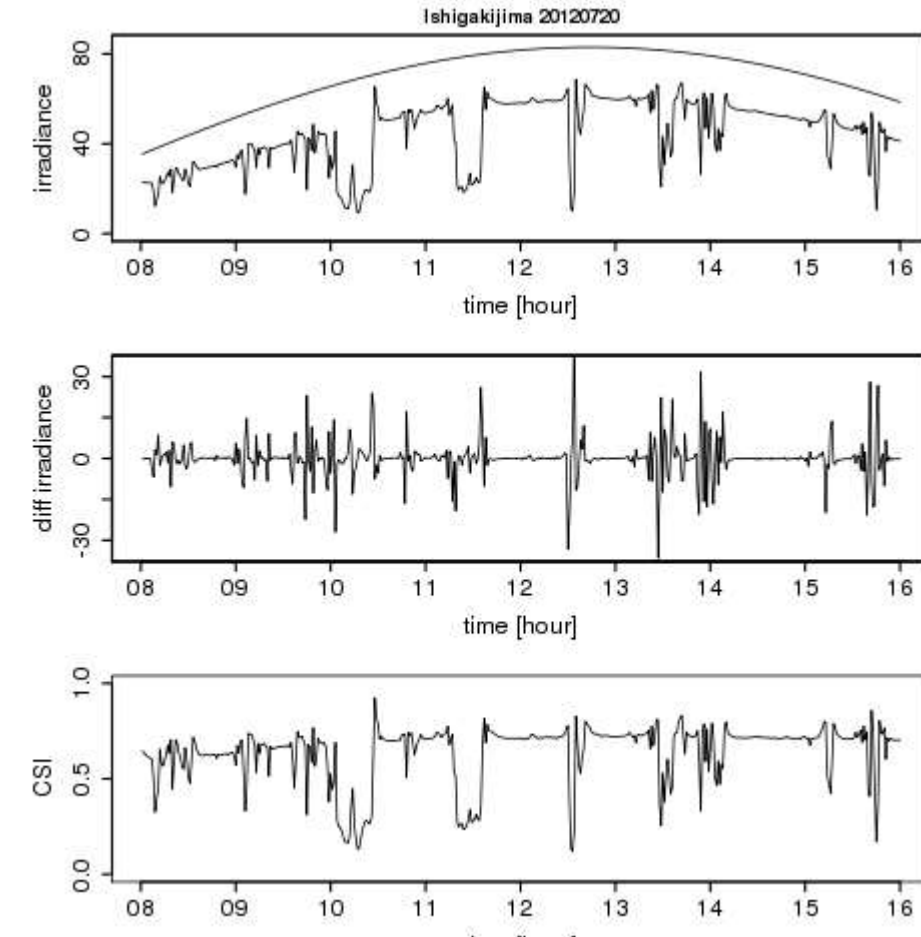


Fig. 4 Fig.2と同様。ただし、2012年7月20日石垣島に関するもの。

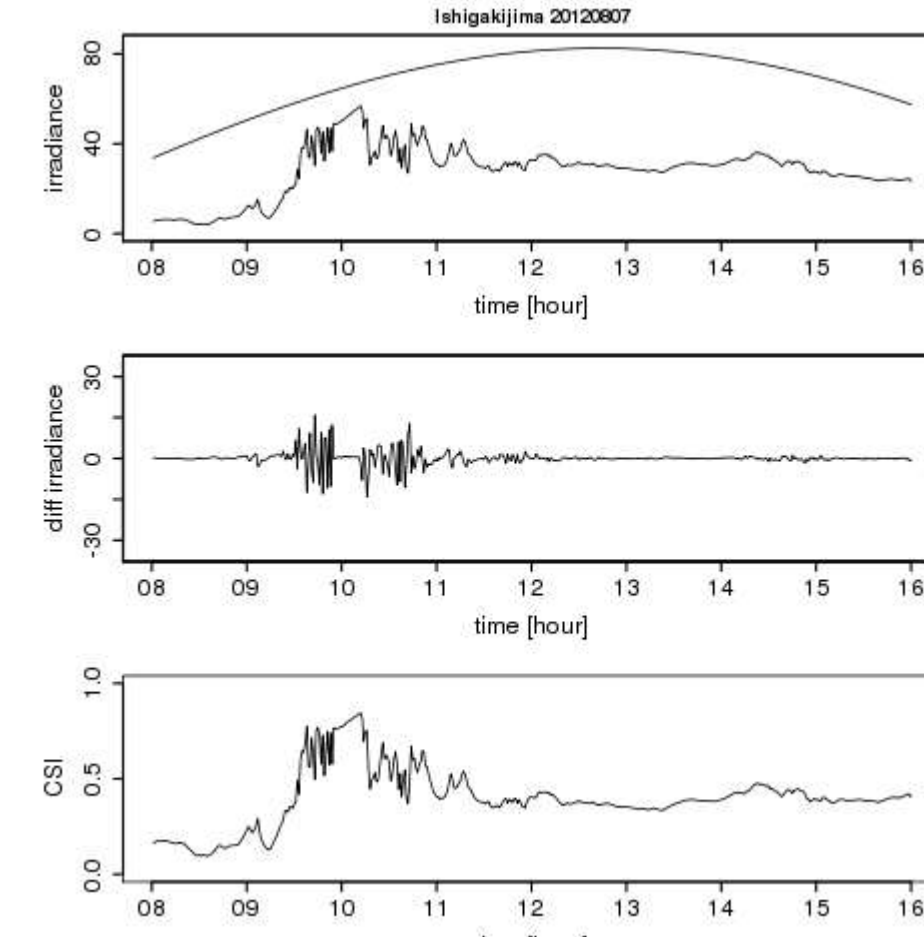


Fig. 5 Fig.2と同様。ただし、2012年8月7日石垣島に関するもの。

標準偏差は分布の広がりを出すため、時系列での変動の様子を表すことができないが、Sample entropyは変動の様子を表すことができる。

## 2. Data

- 気象庁地上観測 1 分間値全天日射量データ  
49 観測地点  
データ間隔: 1 分間  
2012年の各日の8:00 JST ~15:59 JSTの期間を使用
- 衛星観測をもとにした日射量データ  
MTSATの観測データから計算された推定日射量 (Takenaka et al. 2011)  
データ間隔 約30分  
準リアルタイムでデータ取得が可能

長さ $N$ の時系列 $\{u(k): 1 \leq k \leq N\}$ を考える。時系列 $u$ において、 $N-m$ 個のベクトル $\mathbf{x}_m(i), \{i: 1 \leq i \leq N-m\}$ を生成する。ここで、 $\mathbf{x}_m(i) = \{u(i), \dots, u(i+m-1)\}$ と定義され、 $m$ は正の整数である。この時、Sample entropyは以下のように定義される。

$$\text{SampleEn}(m, r) = -\ln \left( \frac{A^m(r)}{B^m(r)} \right)$$

$$\text{ここで、} A^m(r) = (N-m)^{-1} \sum_i A_i^m(r)$$

$$A_i^m(r) = d[\mathbf{x}_{m+1}(i), \mathbf{x}_{m+1}(j)] \leq r \text{ を満たす } j \text{ の数 } (i \neq j)$$

$$\text{また、} B^m(r) = (N-m)^{-1} \sum_i B_i^m(r)$$

$$B_i^m(r) = d[\mathbf{x}_m(i), \mathbf{x}_m(j)] \leq r \text{ を満たす } j \text{ の数 } (i \neq j)$$

$$\text{ただし、} d[\mathbf{x}_m(i), \mathbf{x}_m(j)] = \max_{k \in \{0, m-1\}} |u(i+k) - u(j+k)|$$

### 4. 3 Sample entropyの空間分布

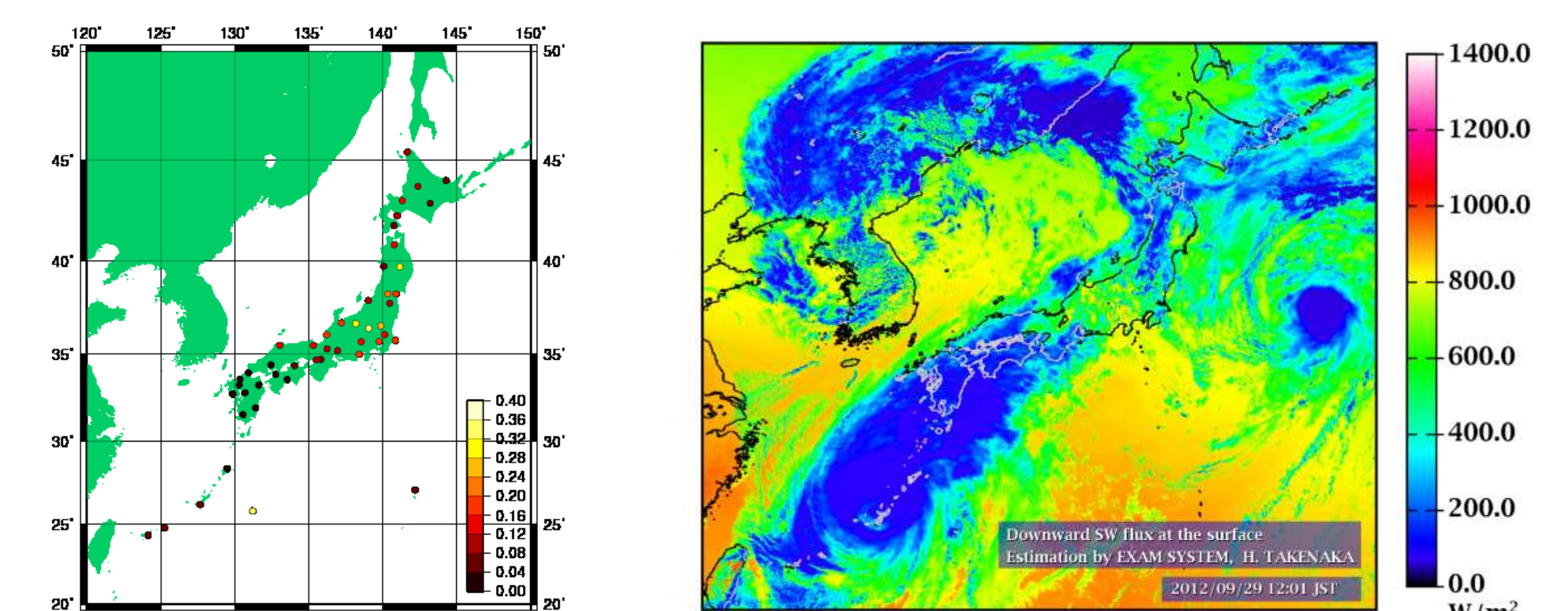


Fig. 6 2012年9月29日の(左) Sample entropy、(右) 衛星観測から推定された全天日射量 Sample entropyのパラメータは $r=6, m=2$ とした。右図は12:01 JSTの観測に関するもの。

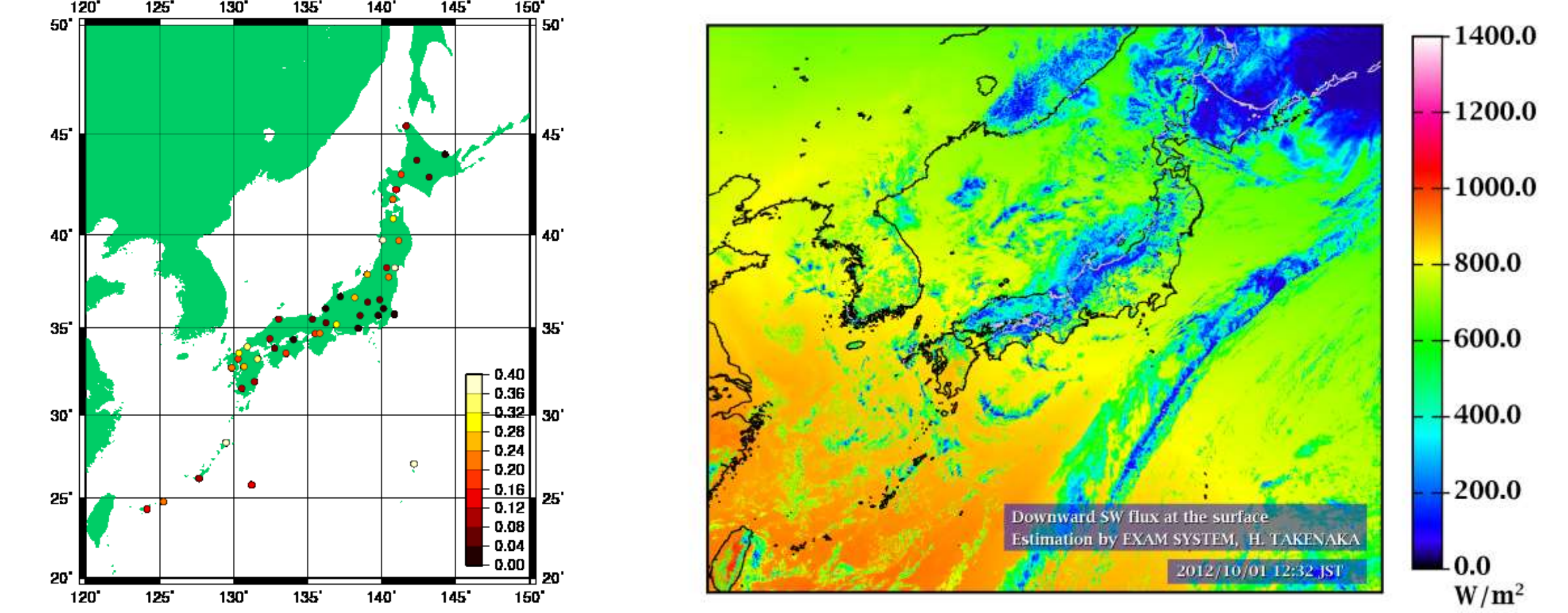


Fig. 7 Fig. 6と同様。ただし2012年10月1日に関するもの。

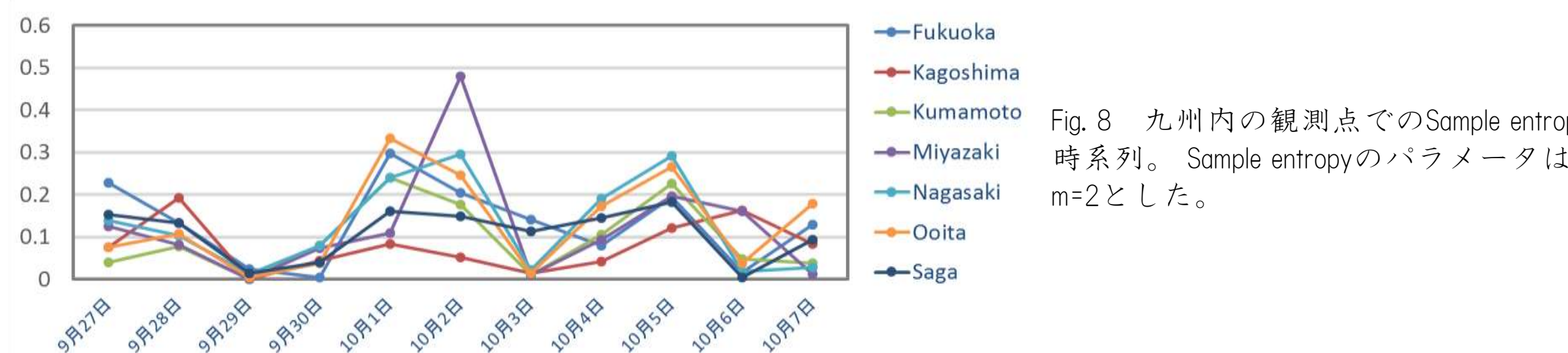


Fig. 8 九州内の観測点でのSample entropyの時系列。Sample entropyのパラメータは $r=6, m=2$ とした。

雲の種類、雲の分布の特徴とSample entropyの値に関係があることが示唆される。

## 5. Conclusions

Sample entropyにより日射量時系列の変動の特徴を定量的に表すことができることを確認した。この結果は、太陽光エネルギーを利用する際に有効な情報となると考えられる。

## Acknowledgement

本研究は、科学技術振興機構 (JST) / CREST / EMSの支援を受けて行った。

