

我が国における 過去30年間の パン蒸発の長期トレンドに ついて



筑波大学陸域環境研究センター 浅沼 順
長岡技術科学大学大学院
エネルギー環境工学専攻 上米良 秀行

2 気候変動と水資源・水防災

- 過去50年間の温暖化に関しては、多くの検証結果がある。
- 気候変動に伴って、**水循環の各過程がどう変動しているか？**
 1. **降雨**については、現業データや再解析データをもとにした解析結果が豊富。
 - ー 全球で**降雨および雲量が増加**傾向。(ただし、反証もあり)
 2. **蒸発量**については、現業データに乏しく、今後の課題。
 - ー 実蒸発量の長期観測は少ない。
 - ー 原理が単純で長期観測が行われている、**パン蒸発量**を用いた解析が有望視されている。

本研究の目的・手法

● 目的

- 我が国における過去のパン蒸発量および気象要素データの**トレンド解析**を行い、北西太平洋における気候変動に伴う**水循環過程の変動**について、考察する。

● 手法

1. 各気象要素の線形トレンドを計算する
2. t検定、Kendall検定を用いて、各気象要素の線形トレンドの有意検定を行い、トレンドの有無を判定する
3. パン蒸発量と各気象要素のトレンド間の関係から、パン蒸発量のトレンドに影響のある因子を抽出する。

解析データ

- 気象庁管轄の気象官署における気象データ

期間: 1967-1996年

地点: 日本全国14地点

うち東京以外は永年気候観測

解析項目:

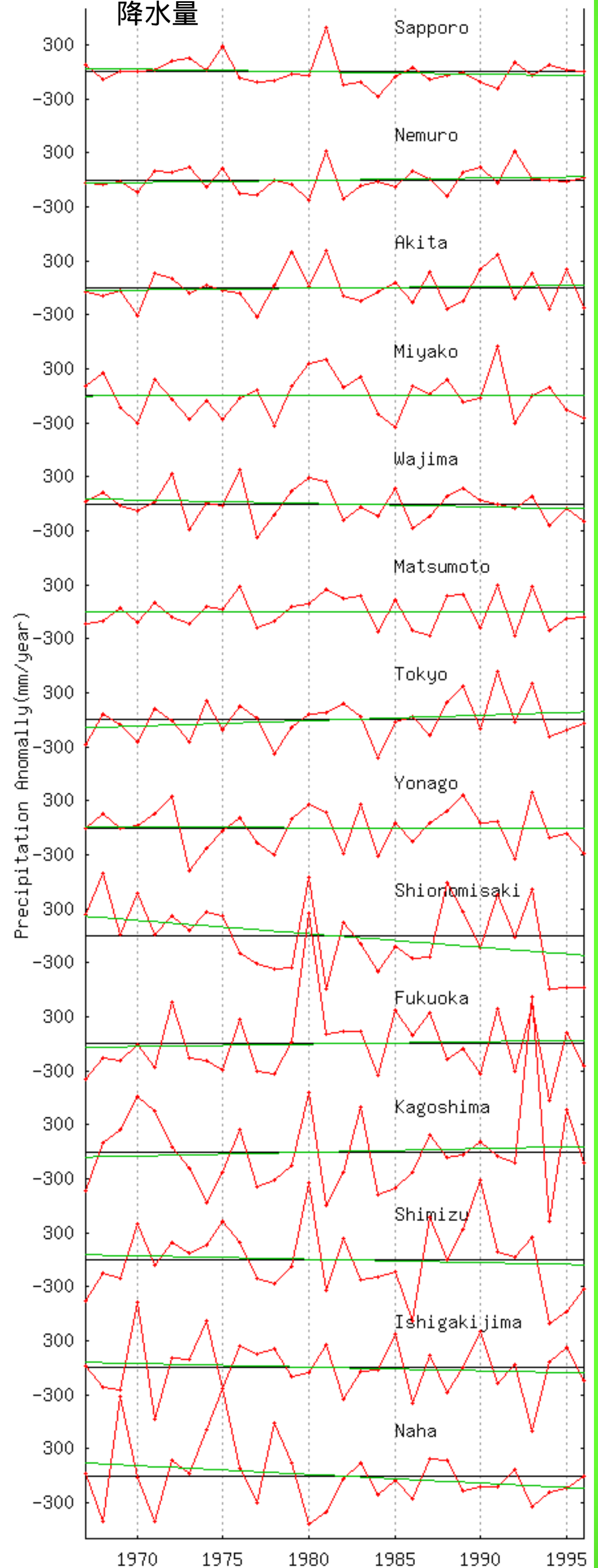
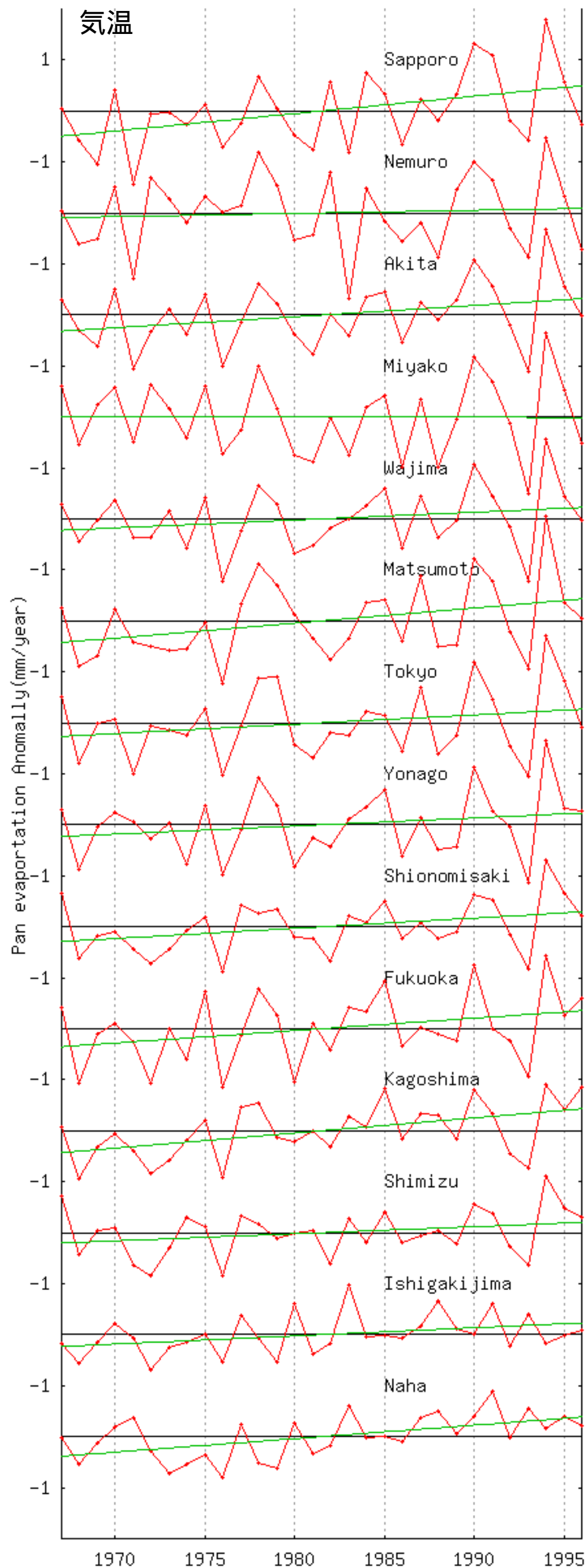
- パン蒸発量、日降水量、日平均気温、気温日較差、日平均湿度、日平均飽差、日直射量
- 注) 気象庁のパン蒸発量観測は、1965年前後を境に、それまでの小型蒸発計からWMO Class Aパンへの移行とともに、多くの地点で観測が廃止になっている。また、Class Aパンによる観測も2002年3月で終了している。



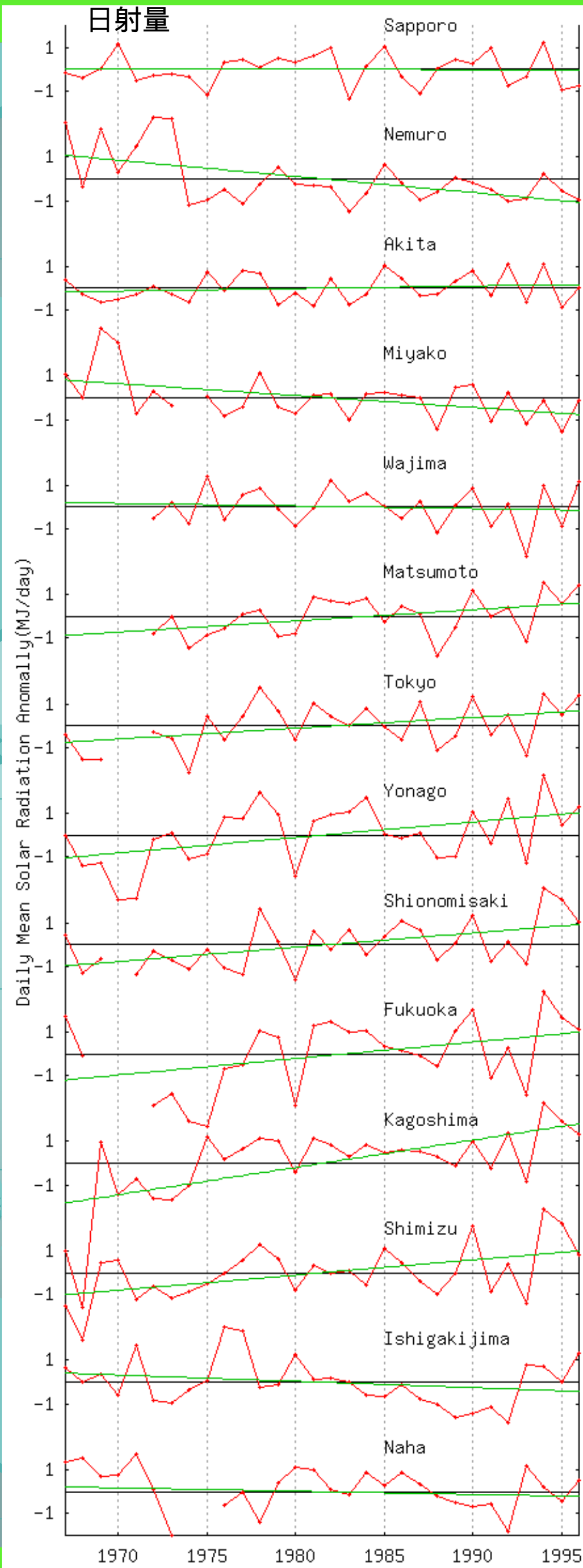
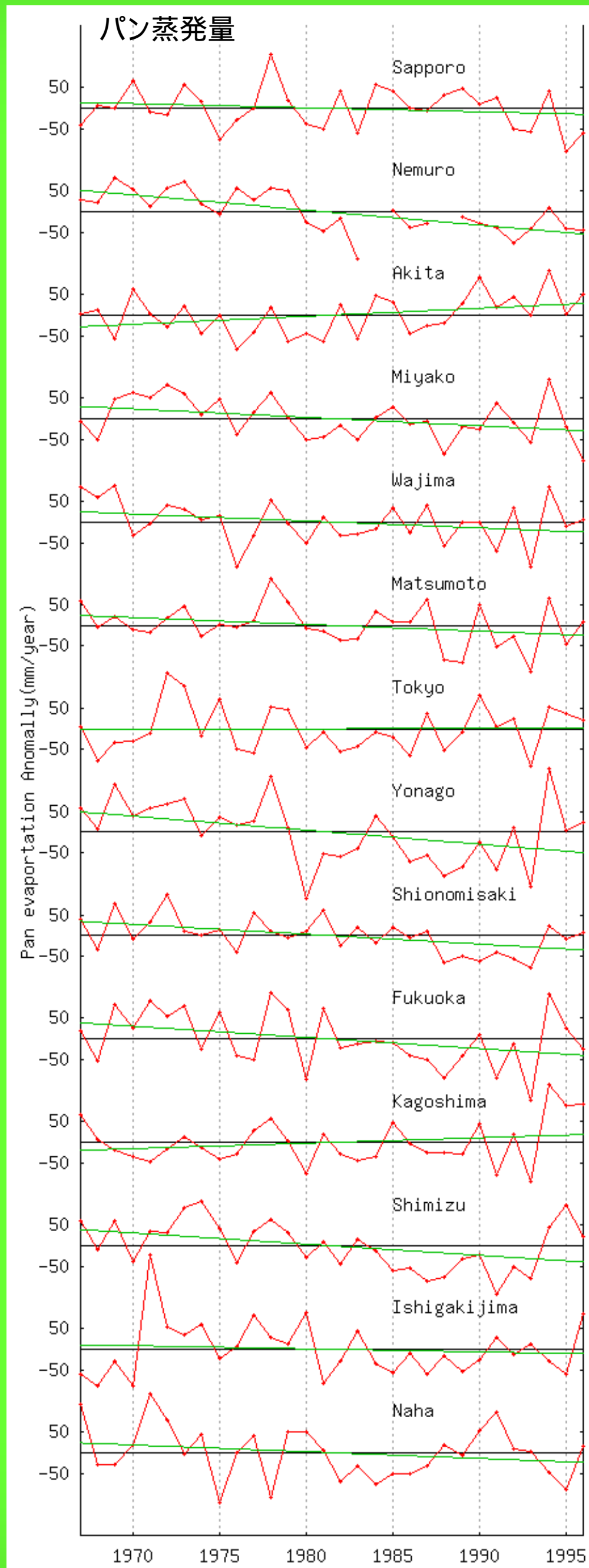
解析の流れ

- A) 対象とする日データを年毎に、季節平均を取る
- 暖候季(5-10月)、春季(3-5月)、夏季(6-8月)、秋季(9-11月)、冬季(12-2月)
- B) 各季節毎の年々変動について、線形回帰分析により、線形トレンド(a)を決定する
- $y(t) = a \times n + b$ (n:年)
- 線形トレンド(a)について、 $t = a / \sigma_a$ としてt検定を行い、上昇/下降トレンドの有意性について判定する。また、同様にKendall検定を行う
- C) パン蒸発量のトレンドと他の気象要素のトレンドとの関係を調べる。

季節平均のアノマリー(暖候期)



季節平均のアノマリー



パン蒸発量・各気象要素のトレンド

表 1: 平均値で無次元化したパン蒸発量の線形トレンド (単位は%/10 年). 太字+下線, 太字は, それぞれ, t 検定によって有意水準 99%, 95%の上昇あるいは下降トレンドがみられる場合を示す, カッコ内の数値は標準偏差.

Table 1: The linear trends normalized with the mean value in %/decade. The values in underlined bold face and those in bold face, respectively, are increasing/decreasing trend with the significance level of 99% and 95%. The numbers in the brackets are the standard deviation.

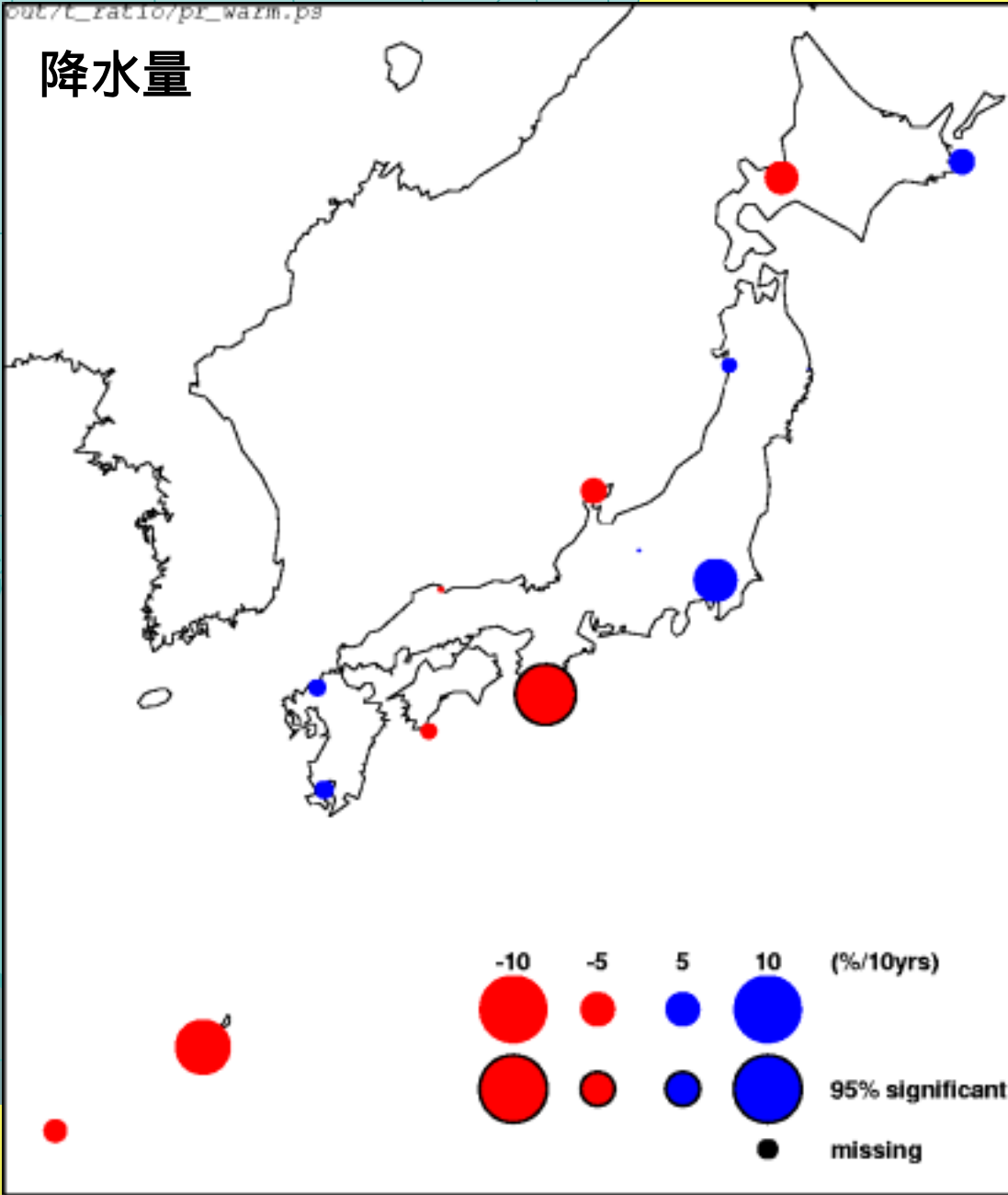
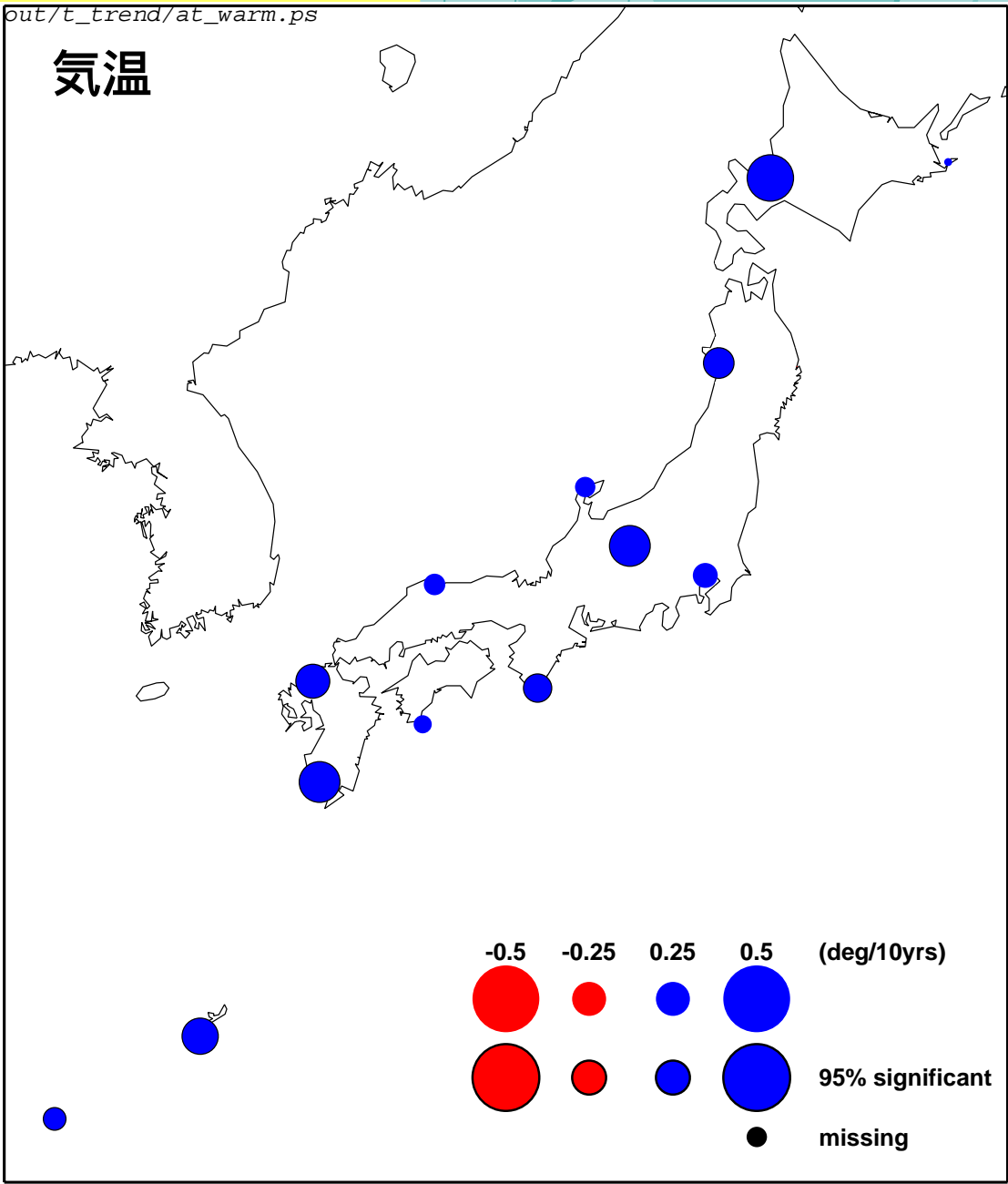
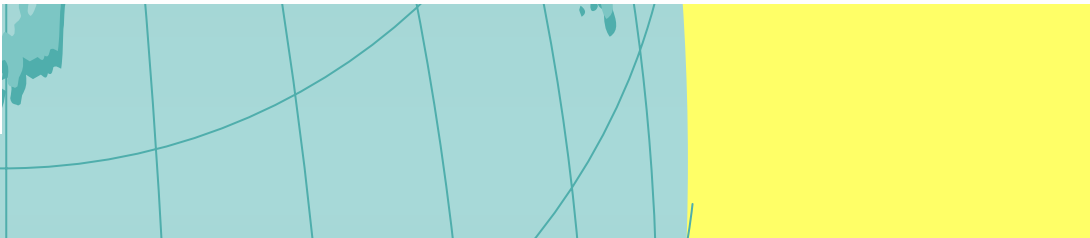
		通年	暖候期	春季	夏季	秋季	冬季
Station	地点	Whole year	Warm season	MAM	JJA	SON	DJF
Sapporo	札幌	-	-1.9	-	-0.6	-	-
		(-)	(2.1)	(-)	(2.4)	(-)	(-)
Nemuro	根室	-	<u>-8.6</u>	-	<u>-9.6</u>	-	-
		(-)	(1.8)	(-)	(2.4)	(-)	(-)
Akita	秋田	-	3.5	-	3.2	-	-
		(-)	(1.7)	(-)	(2.4)	(-)	(-)
Miyako	宮古	-	-5.3	-	-5.0	-	-
		(-)	(2.6)	(-)	(3.7)	(-)	(-)
Wajima	輪島	-	-3.2	-	-2.9	-2.7	-
		(-)	(2.0)	(-)	(2.8)	(2.0)	(-)
Matsumoto	松本	-	-3.0	-	-2.1	-3.1	-
		(-)	(1.9)	(-)	(2.6)	(2.8)	(-)
Tokyo	東京	1.3	0.3	1.2	-0.9	6.3	-
		(1.8)	(2.0)	(2.1)	(2.9)	(2.6)	(-)
Yonago	米子	-4.7	-5.5	<u>-5.2</u>	-5.4	-4.1	-
		(2.1)	(2.4)	(1.9)	(3.2)	(2.2)	(-)
Shionomisaki	潮岬	<u>-3.8</u>	<u>-4.1</u>	-4.2	<u>-4.6</u>	-2.1	-4.5
		(1.1)	(1.3)	(1.8)	(1.8)	(1.3)	(1.9)
Fukuoka	福岡	<u>-6.5</u>	-4.5	-4.9	-4.6	<u>-6.7</u>	-
		(1.8)	(2.2)	(2.3)	(3.1)	(1.9)	(-)
Kagoshima	鹿児島	1.6	2.1	1.2	0.3	4.9	-
		(1.7)	(1.8)	(2.2)	(1.9)	(2.3)	(-)
Shimizu	土佐清水	-3.8	-4.2	-3.6	<u>-5.2</u>	-3.0	<u>-5.9</u>
		(1.6)	(1.8)	(1.9)	(2.1)	(1.6)	(1.8)
Ishigakijima	石垣島	-2.2	-1.0	<u>-7.2</u>	0.3	-1.7	-2.1
		(1.7)	(1.9)	(2.7)	(2.5)	(1.7)	(2.6)
Naha	那覇	-2.8	-2.2	<u>-5.8</u>	-2.3	-1.5	0.1
		(1.5)	(1.8)	(2.3)	(2.3)	(1.8)	(2.3)



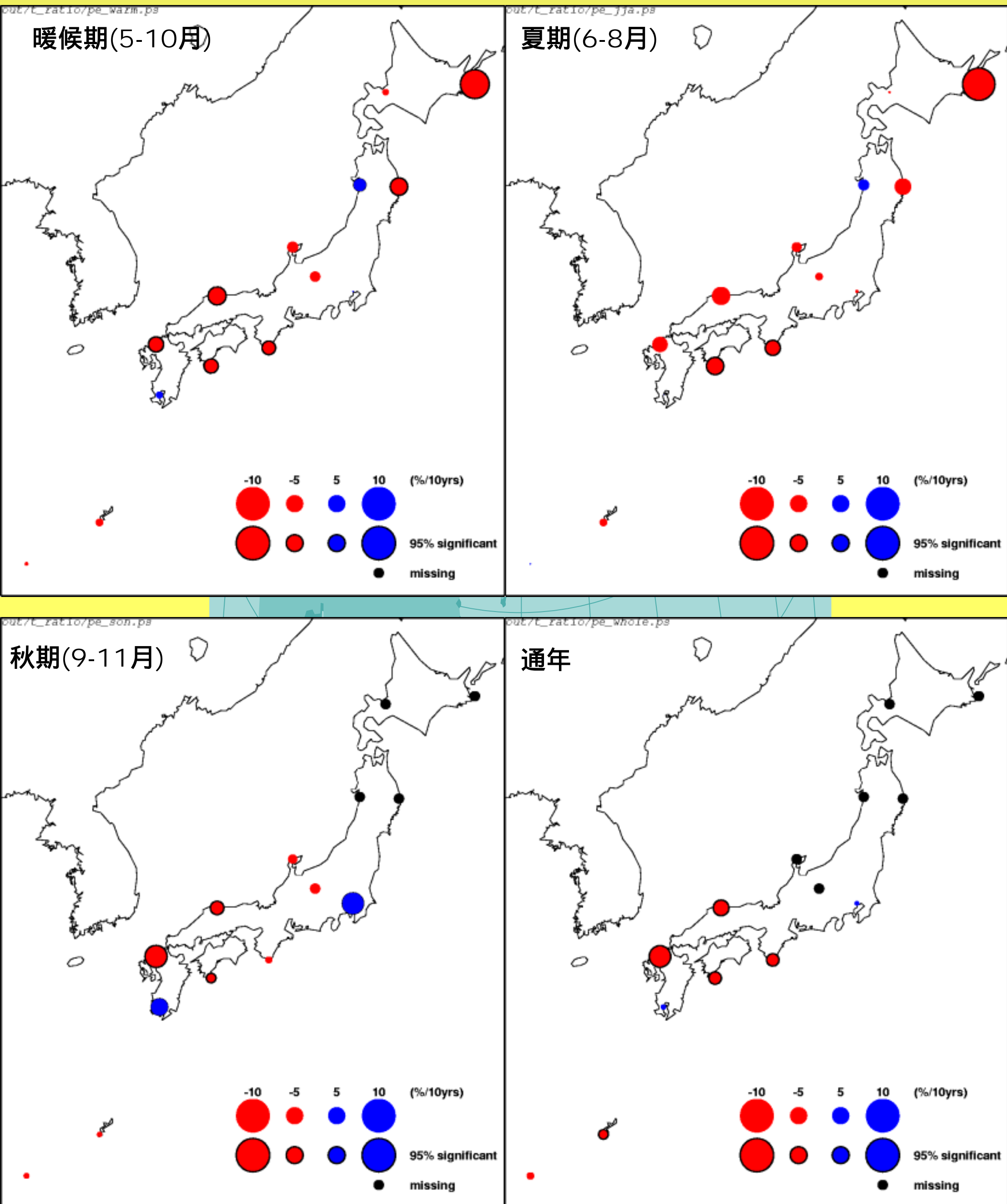
表 2: 平均値で無次元化した, 暖候期の気温, 降水量, 日射量, 気温の日較差, 飽差, 湿度の線形トレンド (単位は%/10 年). ただし気温については無次元化していない (単位は $^{\circ}C/10$ 年). 太字+下線, 太字は, 表 1 に同じ.

Table 2: Linear trends normalized with the mean value for the air temperature, precipitation, solar radiation, daily temperature range, the vapor pressure deficit, and the vapor pressure in %/decade. The air temperature trend is not normalized and in $^{\circ}C/decade$. The values in underlined bold face and those in bold face are as Table 1

		Air temperature	precipitation	Solar radiation	Daily temperature range	Vapor pressure deficit	Vapor pressure
Station	地点	気温	降水量	日射量	気温の日較差	飽差	湿度
Sapporo	札幌	<u>0.34</u>	-4.84	-0.08	<u>-6.37</u>	<u>8.42</u>	-0.45
Nemuro	根室	0.06	3.65	<u>-4.82</u>	<u>-3.67</u>	2.59	-0.01
Akita	秋田	0.22	2.13	0.77	<u>-4.86</u>	<u>6.88</u>	-0.53
Miyako	宮古	-0.01	0.14	<u>-3.70</u>	-0.23	-0.02	-0.06
Wajima	輪島	0.15	-3.70	-0.77	<u>-2.47</u>	<u>4.88</u>	-0.14
Matsumoto	松本	0.29	0.52	3.13	-0.68	4.08	1.07
Tokyo	東京	0.18	6.37	3.88	<u>-4.63</u>	2.36	0.68
Yonago	米子	0.16	-0.82	<u>4.61</u>	-2.17	2.47	0.18
Shionomisaki	潮岬	0.20	-8.91	<u>4.05</u>	-0.24	3.85	0.66
Fukuoka	福岡	0.24	2.54	5.00	<u>-3.73</u>	2.90	0.90
Kagoshima	鹿児島	<u>0.29</u>	2.67	<u>8.22</u>	<u>-5.62</u>	<u>7.43</u>	-0.17
Shimizu	土佐清水	0.14	-2.40	<u>4.22</u>	1.87	5.84	-0.52
Ishigakijima	石垣島	0.16	-3.32	-1.55	<u>-5.35</u>	<u>8.30</u>	-1.00
Naha	那覇	<u>0.26</u>	-8.11	-0.85	<u>-1.72</u>	<u>8.19</u>	-0.11

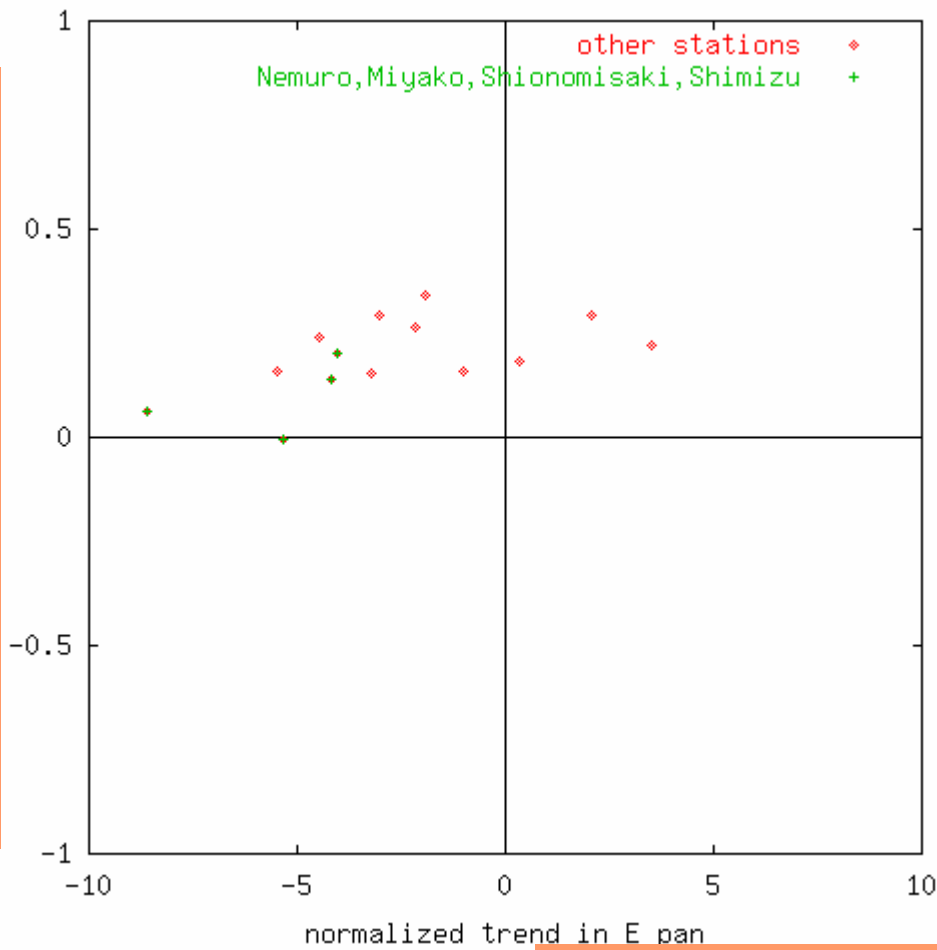


パン蒸発量の長期トレンド

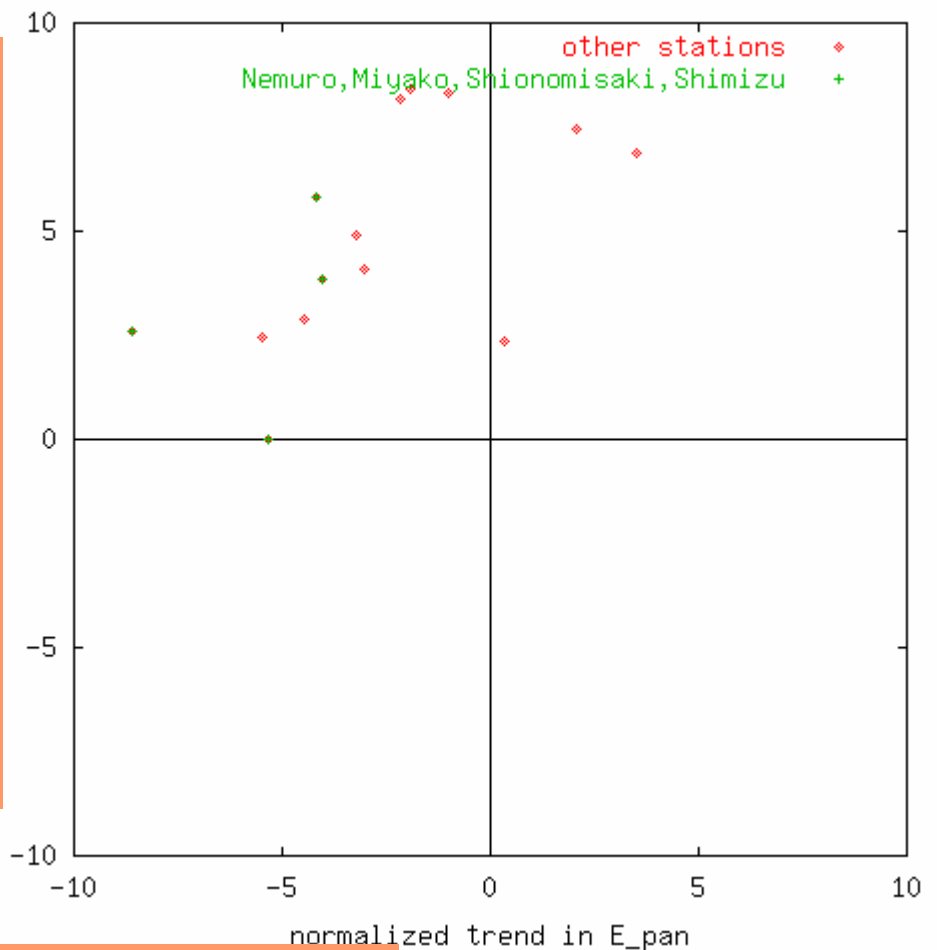


C) パン蒸発量と気象要素の関係

気温のトレンド(/decade)



飽差のトレンド(%/decade)



パン蒸発量のトレンド(%/decade)

まとめ

- 解析に用いたデータ全般から、年間を通して**パン蒸発量の減少トレンド**が認められた。特に、根室、宮古、潮岬、土佐清水などの**太平洋側で強い減少トレンド**見られた。
- 降水量には、有意なトレンドが見受けられなかった。
- これらの4地点は、海洋の影響を受けやすい地点に位置しており、**海面蒸発の影響**を受けている可能性がある。
- 都市域では、傾向が季節毎に変動し、不確定要素が大きい。よって、上記4地点の減少トレンドは、**都市化とは無関係である**と考えられる。
- パン蒸発量の減少は**飽差の減少と同時に生起**している。
- 我が国太平洋側のパン蒸発量の減少は、インドや中国東南部と一致しており、夏季モンスーン地域の共通のトレンドであるかどうかを調べる必要がある。

¹²パン蒸発量の長期トレンドに関する研究1

- Peterson(1995, Nature)

- 米国東部、米国西部、旧ソ連欧州部、シベリアの4地域で、1950-1990年のパン蒸発量が減少。
- これは、実蒸発量の減少を意味し、旧ソ連欧州部と米国北部での河川流出量の増加と関連がある。
- パン蒸発量の減少は、気温の日較差と最も相関がある。

その他、インド (Chattopadhyay and Hulme, 1997, Ag. For. Met.), ベネズエラ (Quintana-Gomez, Proc. Intl. Meet. Stat. Clim., 1997)などでも、同様(パン蒸発量の減少)の報告がある。

パン蒸発量の長期トレンドに関する研究2

- Brutsaert and Parlange(1998, Nature)
 - パン蒸発量の減少 = 可能蒸発量の減少 = 実蒸発量の減少と考えると、降水量の増加トレンドと矛盾する。
 - **パン蒸発量と実蒸発量の補完関係**を考えれば、パン蒸発量の減少は**実蒸発量の増加**を意味する。
 - パン蒸発量の減少を実蒸発量の増加ととらえれば、**降水量の増加と矛盾しない**

可能蒸発量と実蒸発量の補完関係：

ある種の可能蒸発量(パン蒸発量など)は、実蒸発量と逆相関にあり、一方の減少は他方の増加につながる。これを補完関係という。



パン蒸発量の長期トレンドに関する研究3

- Lawrimore and Peterson (J. Hydrmet., 2000)
 - 米国の過去約50年間の暖候期の降水量・蒸発量の解析から、米国のほぼ全域で**パン蒸発量の減少と降水量の増加**が見られる。
 - 米国のほぼ全域で、パン蒸発量と降水量のトレンドに逆相関関係が見られ、Brutsaert and Parlange(1998)の仮説をサポートする。
- Golubev et. al. (Geo. Resear. Letter, 2001)
 - 旧ソ連、米国のデータから、長期的なスケールで、**パン蒸発量と実蒸発量が補完関係を持つ**ことを確認した。
 - この補完関係を用いて、旧ソ連および米国のほぼ全域で、**実蒸発量の増加傾向**があることを見いだした。

パン蒸発量の長期トレンドに関する研究4

- Roderick and Farquhar(2002, Science)
 - 雲量とエアロゾルの増加により、日射量が減少している
 - 全世界的に報告されているパン蒸発量の減少は、日射量の減少によるものである
- Ohmura and Wild (2002, Science)
 - 蒸発量は気温のみに依存するものではなく、気温の上昇が蒸発量の増加に直接つながるものではない。
 - 全球の蒸発量を考えるとき、陸面蒸発と海面蒸発は別個に扱うべき。後者は、大気側以外の条件にも依存する。

16 パン蒸発量の長期トレンドに関する研究5

- 徐 (2001, 水文学会誌)
 - 日本および中国における気象要素のトレンドを調べ、乾燥地域でパン蒸発量が増加傾向、湿潤地域で減少傾向を示すことを見いだした。
 - 湿潤地域でのパン蒸発量の減少傾向は、インドでの報告と一致し、湿潤モンスーン地域の一般傾向である可能性を示唆した。
 - 解析した半数の地点で、パン蒸発量と降雨量のトレンドが逆相関になった。

我が国における過去30年間の パン蒸発量の長期トレンドについて

筑波大学陸域C 浅沼 順
長岡技術科学大学大学院 上米良秀行

- 全世界で過去20-50年間にパン蒸発量の減少
- ↓
- 解釈1:
可能蒸発量の減少 陸面蒸発量の減少
- 解釈2:
パン蒸発と陸面蒸発量が逆比例 陸面蒸発量の増加
- 解釈3:
日射量の減少 陸面蒸発量の減少
- 本論文では。。。
 - 我が国気象官署14地点のパン蒸発量トレンドを解析
 - 大気境界層科学は、気候・水循環変動研究に貢献出来るか？

