

気象情報解析特論第10回

平均値の差のt検定

神山 翼, @t_kohyama,
tsubasa@is.ocha.ac.jp,

理3-703

今日は、気候を変化させる外部からの強制を統計的に検出する方法を学びます

平均値の差のt検定

気候変数の平均値に差があるとき

外部要因がなくてもランダムな変動で生じうる差なのか
外的要因によって変化したと考えるべき差なのかを調べる手法

有意水準と帰無仮説を定めて

サンプルから計算した統計検定量をt分布関数と比較

コンポジット解析の信頼度を判定するためにも有用



昔はもっと涼しくてねえ

気のせいですよ



昭和時代と平成時代で比べると 東京は温暖化した？



ラフランス高橋 3y+1m

@lafrancetkhs

...

「夏の庭」や「ぼくらの七日間戦争」のような、かつて私たちがチューペットを嚙りながら夢中で読んだ児童文学に出てくる「夏」と、いま私たちに襲い掛かるベッタリと蒸す酷暑の「夏」とは、同じ「夏」でも、全く別物になってしまった気がしてちょっと悲しい。随分遠いところまで来てしまった

[Translate Tweet](#)

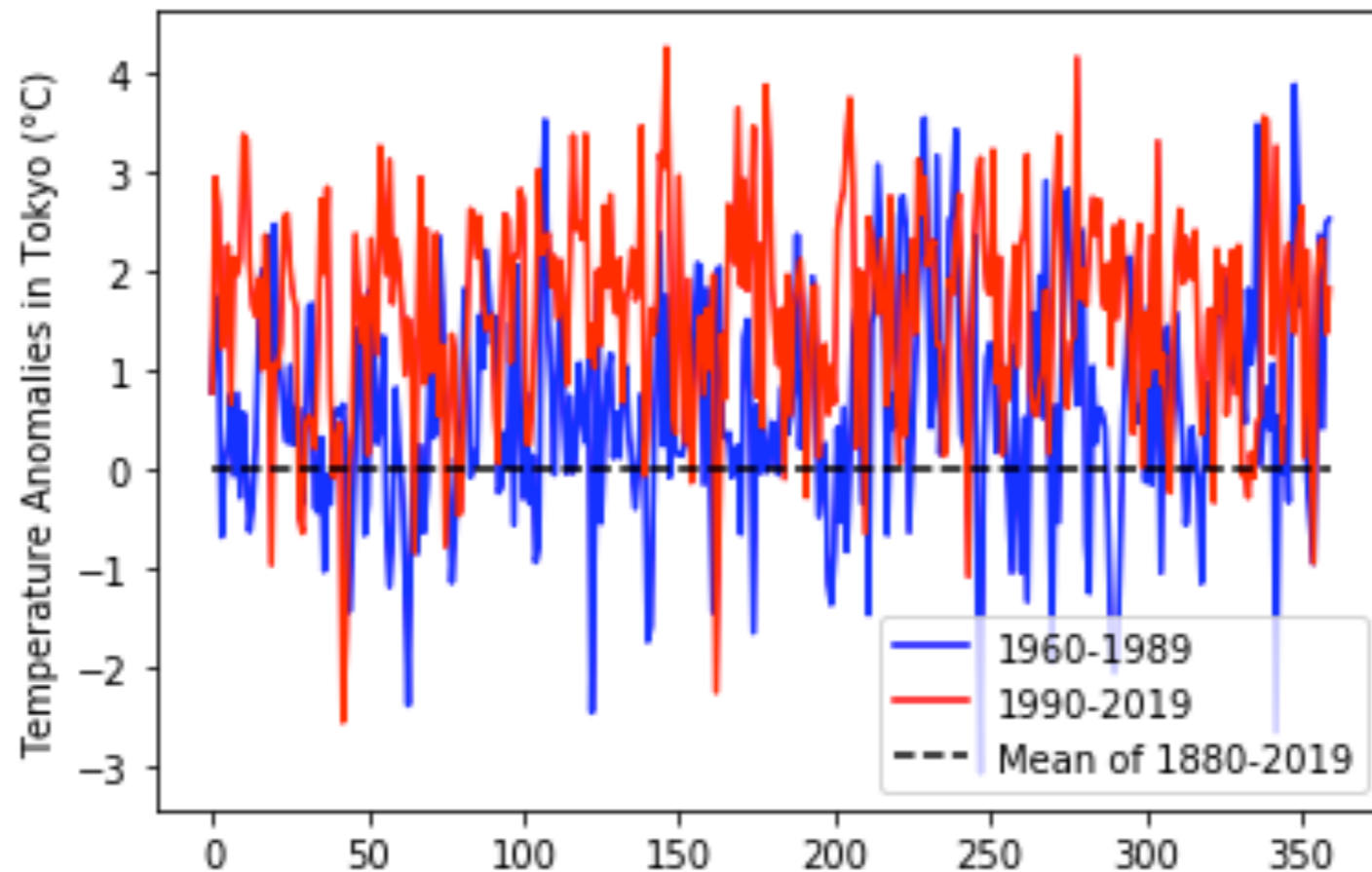
4:10 PM · Jun 30, 2022 · Twitter for iPhone

15K Retweets 517 Quote Tweets 80.8K Likes

<https://twitter.com/lafrancetkhs/status/1542405124676788224>

1880年から2019年の平均を基準として
昭和が 0.58°C ，平成が 1.57°C 暖かかった

なんらかの外的要因があって気候が変化？
たまたまランダムな変動（サンプリング変動）で
平均値に差が生まれた？



ランダムな変動で結果が変わる例

- ・ 「サイコロを30回振る」という試行を全く同じサイコロで2回繰り返したとしても、それぞれの30回で出た目の平均値には若干の差がある（差があっても、サイコロに細工をしたとは普通考えない）
- ・ 同じ学力の高校生が入試を受けても、その日の体調や出題の得意不得意など、「運要素」「ガチャ」と言われるような、コントロール不可能な統計的乱雑さ（**stochasticity**）で合否が分かれる

気候にもstochasticityがある

実際に外的要因が変化したのかどうかを知りたい

平均値の差のt検定

平均値の差について統計検定

モンテカルロテストよりも汎用的な
「t検定」を勉強します

もし昭和時代と平成時代の
気候条件が同じだったと仮定

サンプリング変動でこの程度の差は生じうるのか（どの程度生じにくい）をテスト

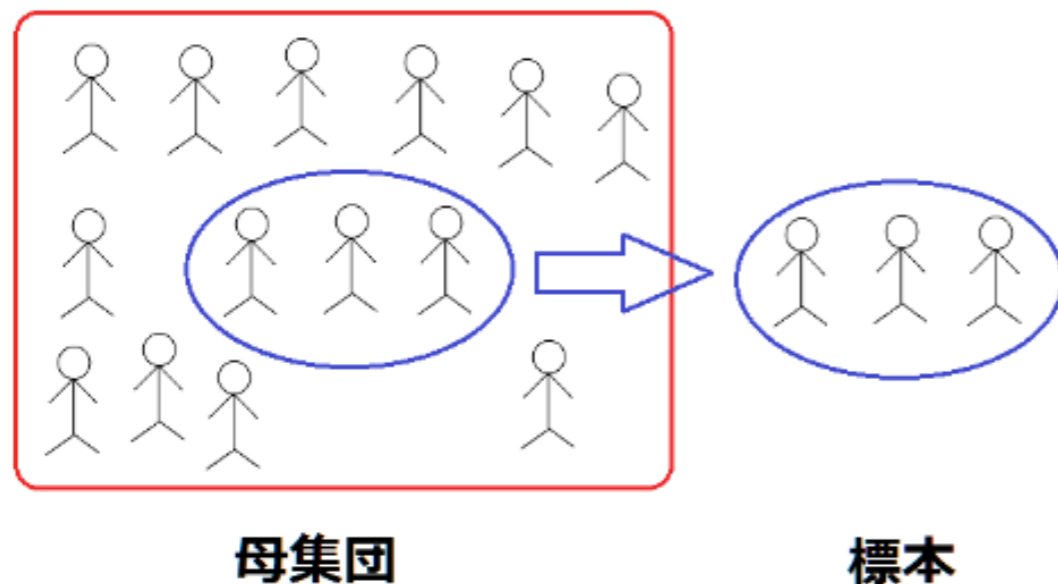
気候解析における母集団と標本の考え方

母集団

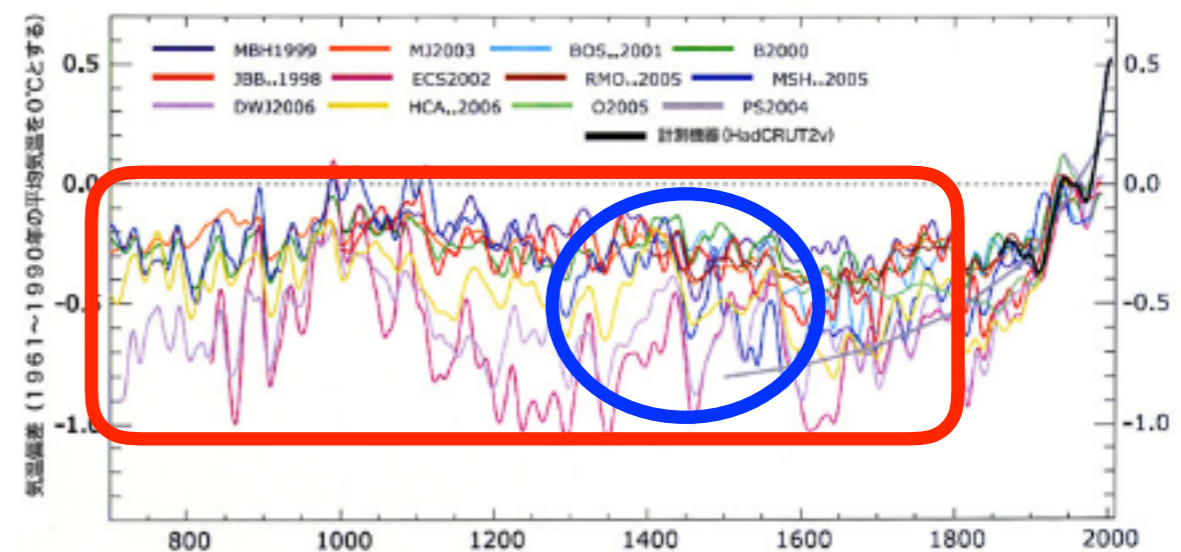
外部強制が同一の気候の時代が無限に続くと
考えたときの気象データ全体の分布

サンプル (標本)

実際に利用できる独立なデータ



北半球の気温推移 (復元データ 700~2000年)

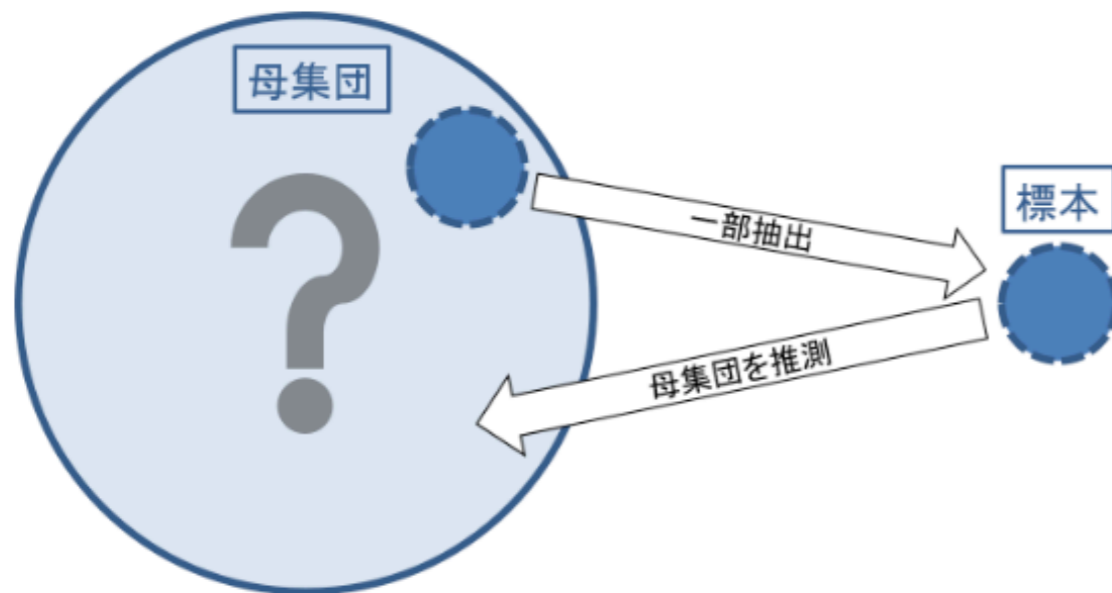


出典) IPCC第4次評価報告書 2007

t検定

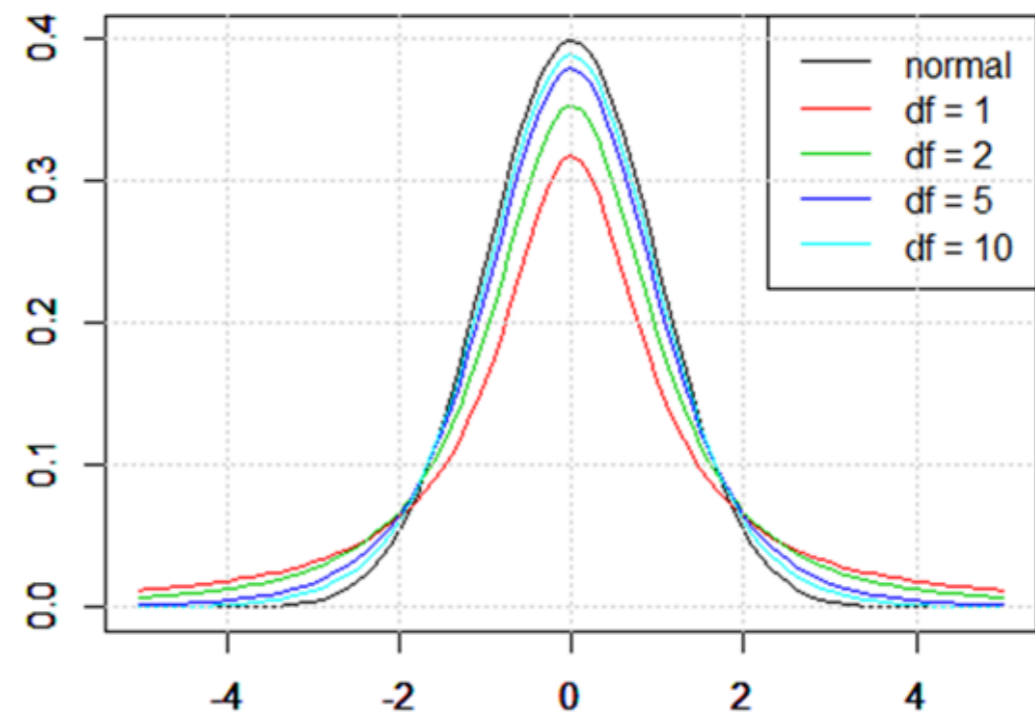
(サンプル数が30程度よりも少ない場合に用いる)

サンプルを取り出して
母集団を推測



統計量で用いられる記号	母集団	標本
平均	μ	\bar{x} あるいは \bar{X}
分散	σ^2	s^2

正規分布に従う母集団から
取り出したサンプルは
t分布に従う



t検定の手順

1. 要求する有意水準を決める

どの程度の確率で起こることを「十分確率が低い」と判定するか
の基準（気象学では普通0.05= 信頼度95%）

2. 帰無仮説をつくる

棄却するためにわざと作る仮説

「昭和時代と平成時代の気温の母平均の差はゼロである」

3. 対立仮説をつくる

帰無仮説を棄却することによって、示したい仮説

「昭和時代と平成時代の気温の母平均の差はゼロでない」

t検定の手順

4. 検定統計量を計算

帰無仮説が正しいと仮定するとt分布に従う量

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1^*} + \frac{\sigma_2^2}{N_2^*}}}$$

(適宜統計の教科書を参照すること)

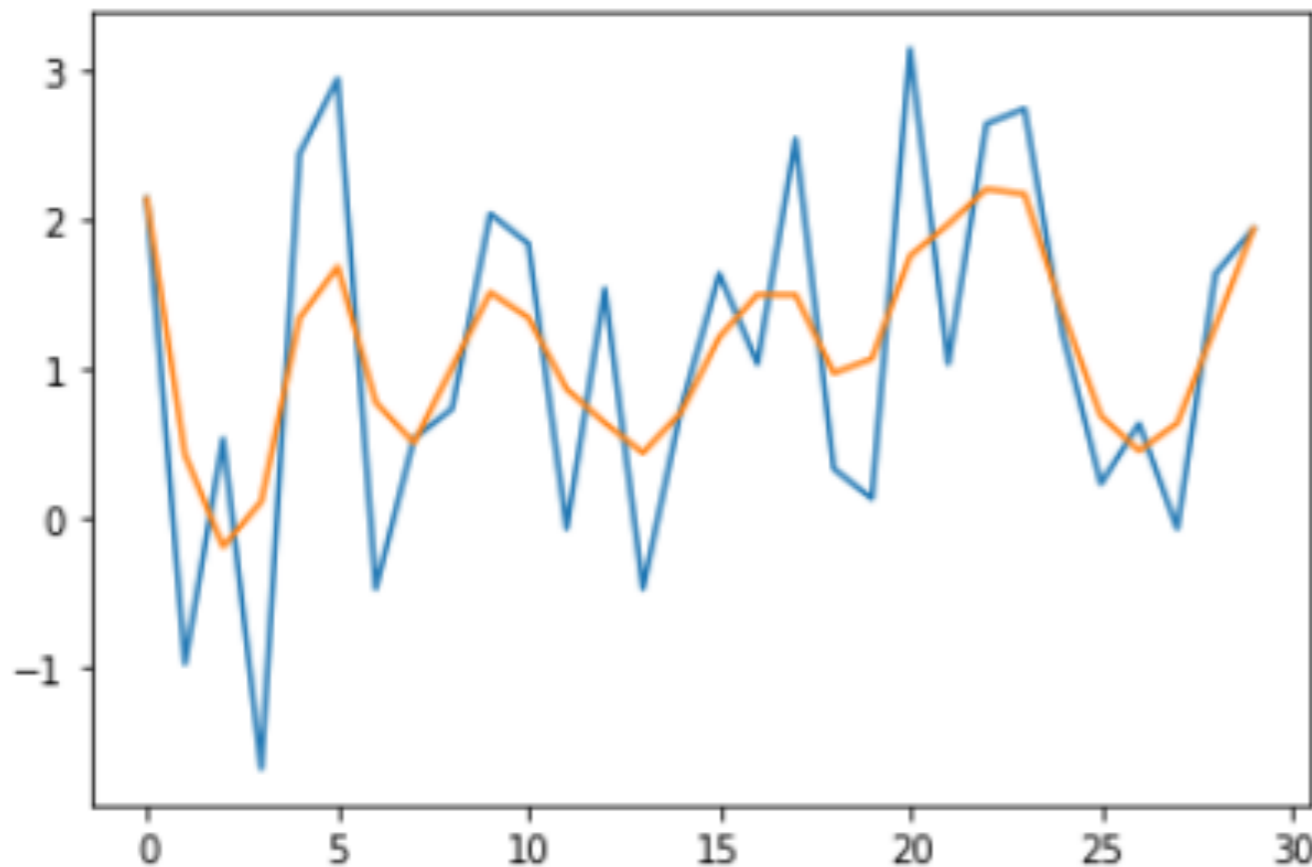
5. 検定統計量と棄却域を比較し、 帰無仮説を棄却するかどうかを判断

「もし帰無仮説が正しいなら、これ以上検定統計量tがt分布の中心から外れる確率は低いので、帰無仮説は正しくないのだろう」と判断する領域 = 棄却域

時系列データで検定する際に
サンプル数に関する注意

レッドノイズ的な時系列ほど 実効的サンプルサイズは小さい

ローパスフィルタリングをする前とした後の時
系列では、持っている情報の量が全然違う



レッドノイズは、前
の年の情報を引きず
るので、個々の年は
独立なサンプルであ
るとは言えない

レッドノイズの実効的サンプルサイズを求める公式 (Bretherton et al. 1999)

$$N^* = N \frac{1 - r}{1 + r}$$

N^* : 実効的サンプル数

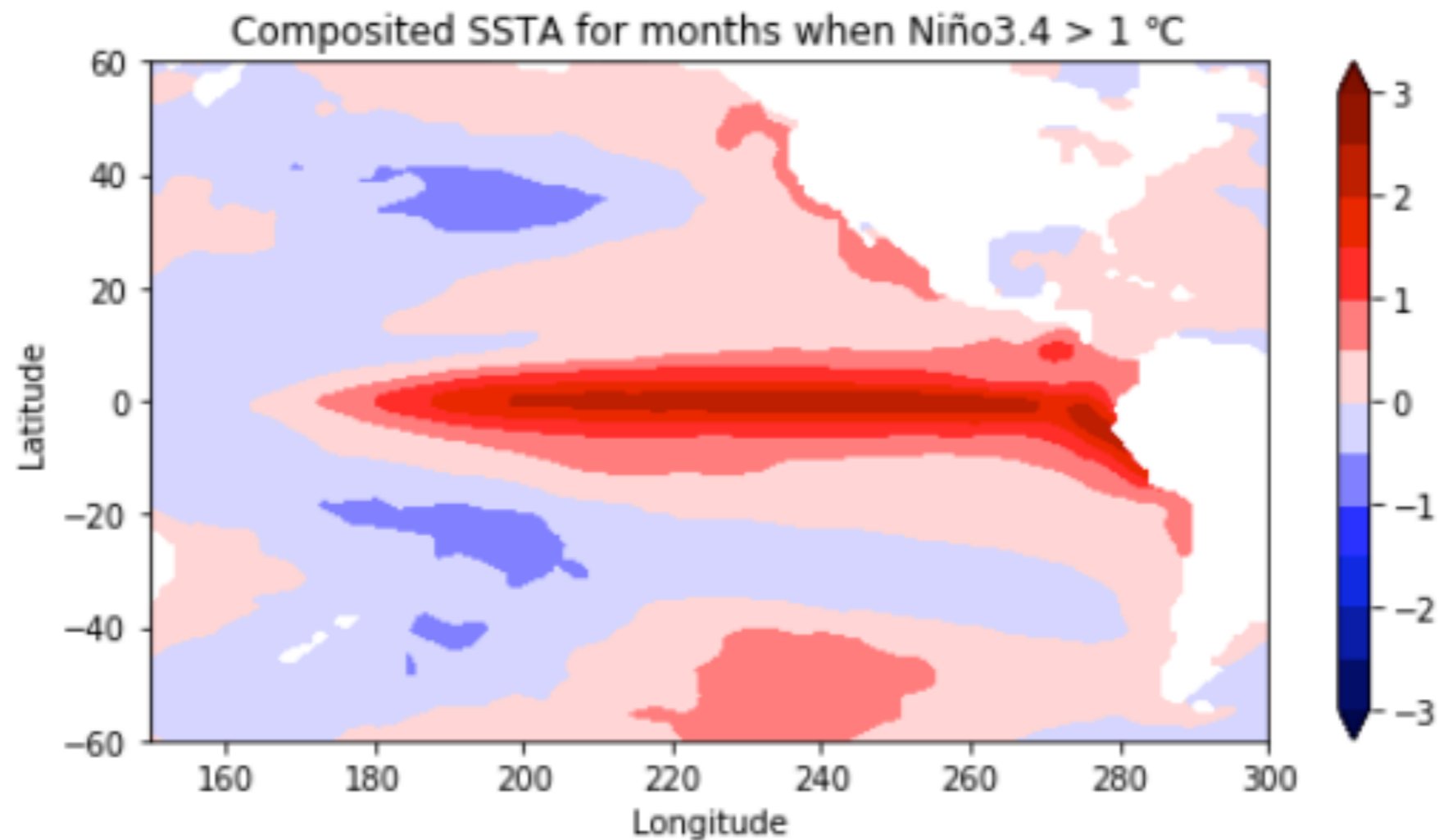
N : 元のサンプル数

r : 時間ステップを1つずらした時系列と元の時系列の相関係数 (「ラグ1自己相関」)

コンポジット図の統計検定

サンプリング変動ではなく，本当にエルニーニョの影響を受けている地点はどこ？

Niño3.4が 1°C を超えているときのコンポジット図

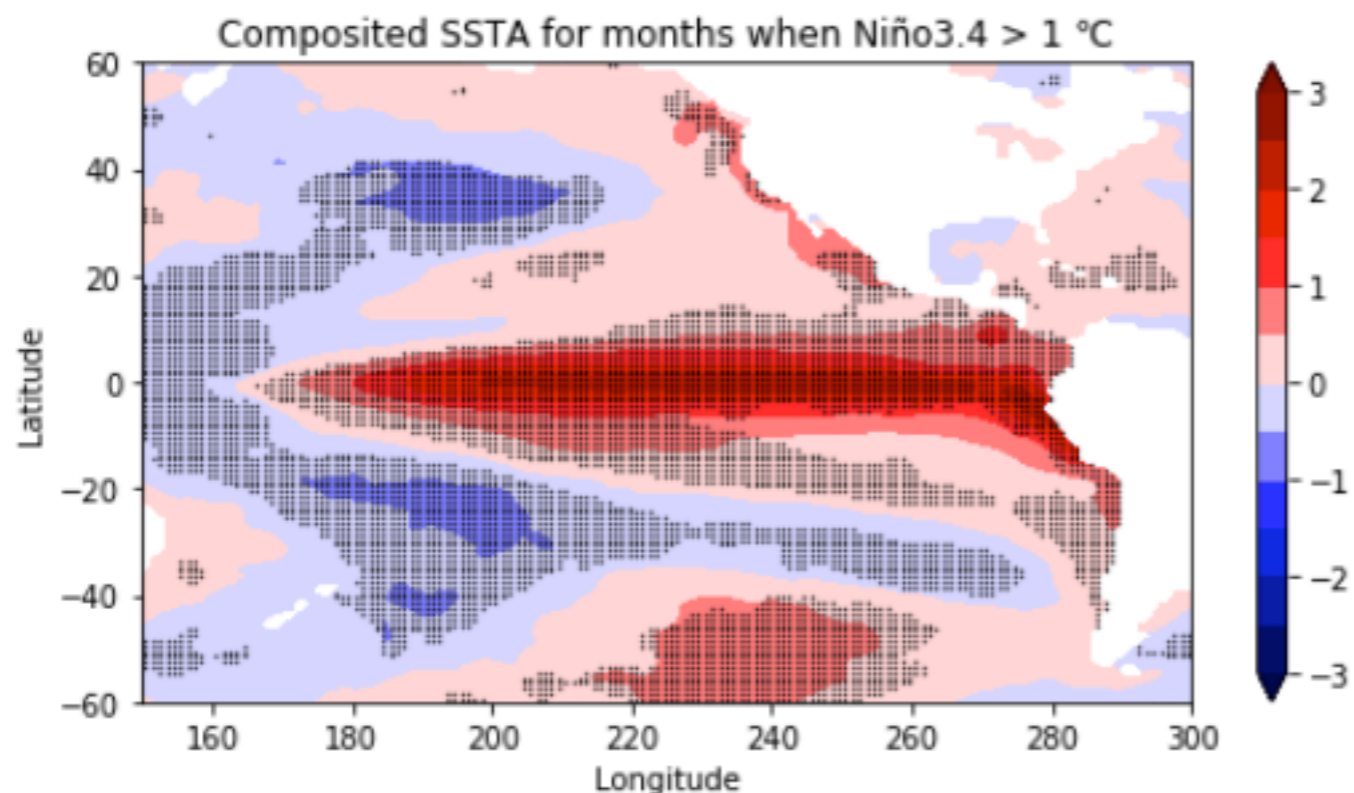


t検定を，全ての地点について実行すればよい

1. 95%信頼度

2. 帰無仮説「コンポジットをとった
偏差は0と差がない」

3. 対立仮説「コンポジットをとった
偏差は0と差がある」



「95%信頼度でエル
ニニョの有意な影
響を受けている」地
点に点を打った図

今日は、気候を変化させる外部からの強制を統計的に検出する方法を学びます

平均値の差のt検定

気候変数の平均値に差があるとき

外部要因がなくてもランダムな変動で生じうる差なのか
外的要因によって変化したと考えるべき差なのかを調べる手法

有意水準と帰無仮説を定めて

サンプルから計算した統計検定量をt分布関数と比較

コンポジット解析の信頼度を判定するためにも有用

本日の導入パートは以上です。
何でも良いので渡した紙に
授業に関係のあるコメントを
してください（出席代わり）。

コメント拾いが終わったら、
早速今日のプログラミングに進みましょう。