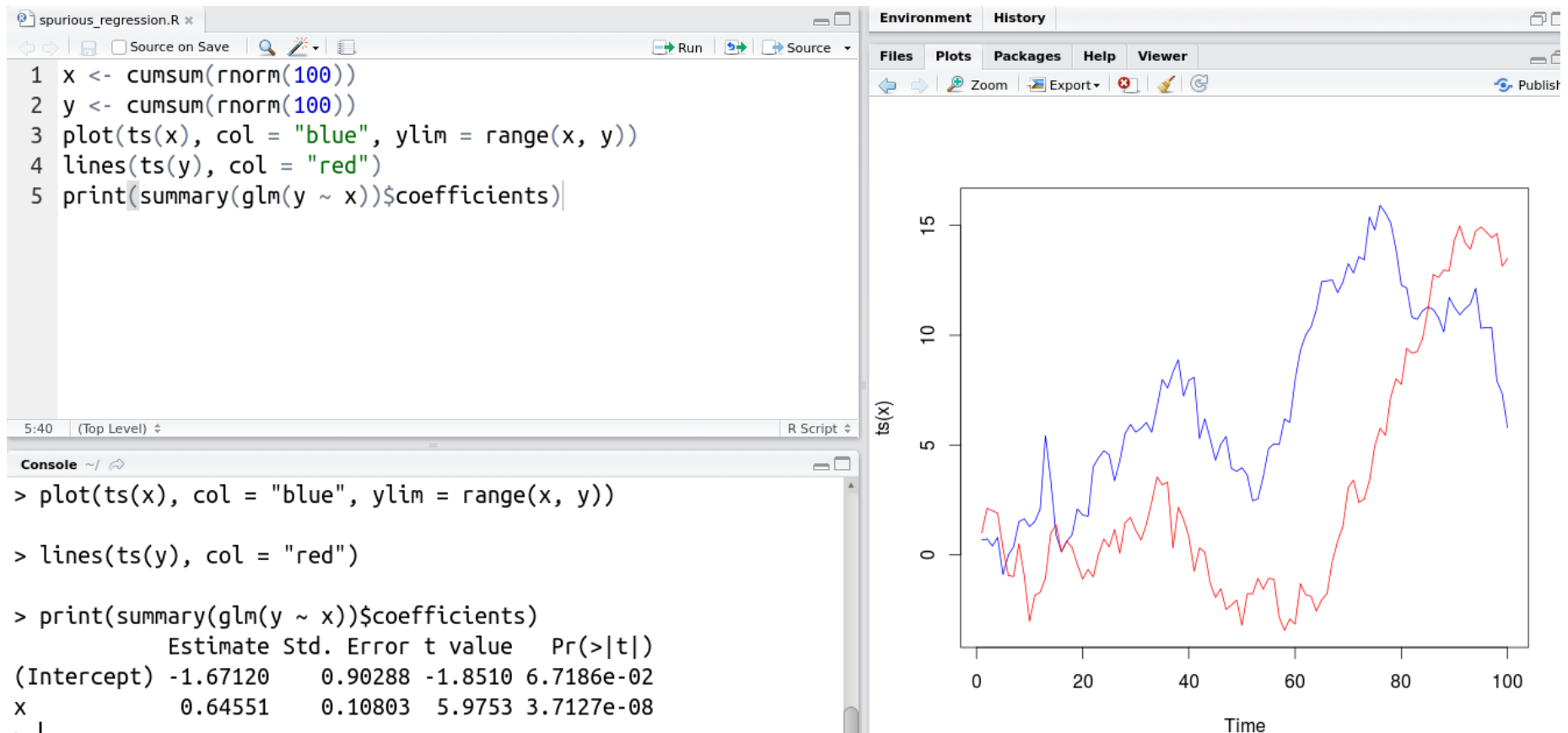


時系列データ解析

状態空間モデル (SSM) の続きと 疑わしい回帰 (spurious regression)

久保拓弥 (北海道大・環境科学)



今回、説明してみたいこと

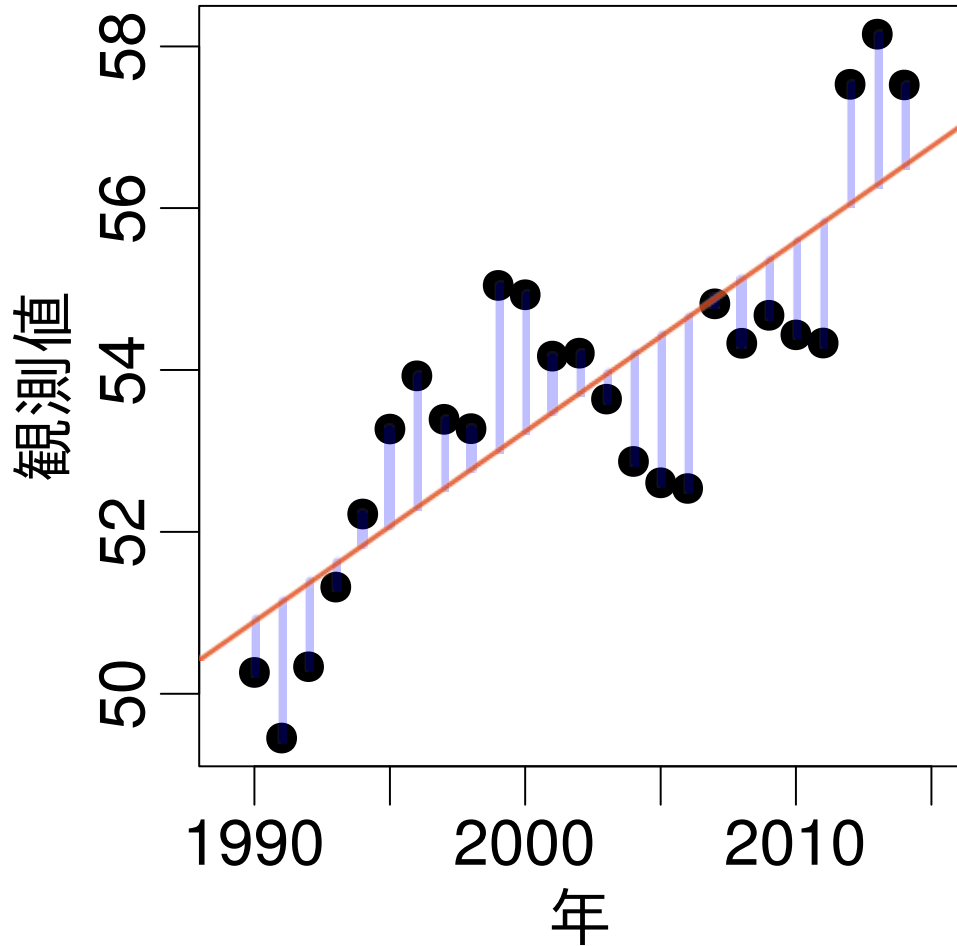
- 時系列データ：単純な回帰はダメ(続)
- 状態空間モデル：乱歩と雑音の分離
- 欠測と不等間隔
- 時系列「ばらばら解析」やめよう
- 「うたがわしい回帰」への対策

階層ベイズモデル!

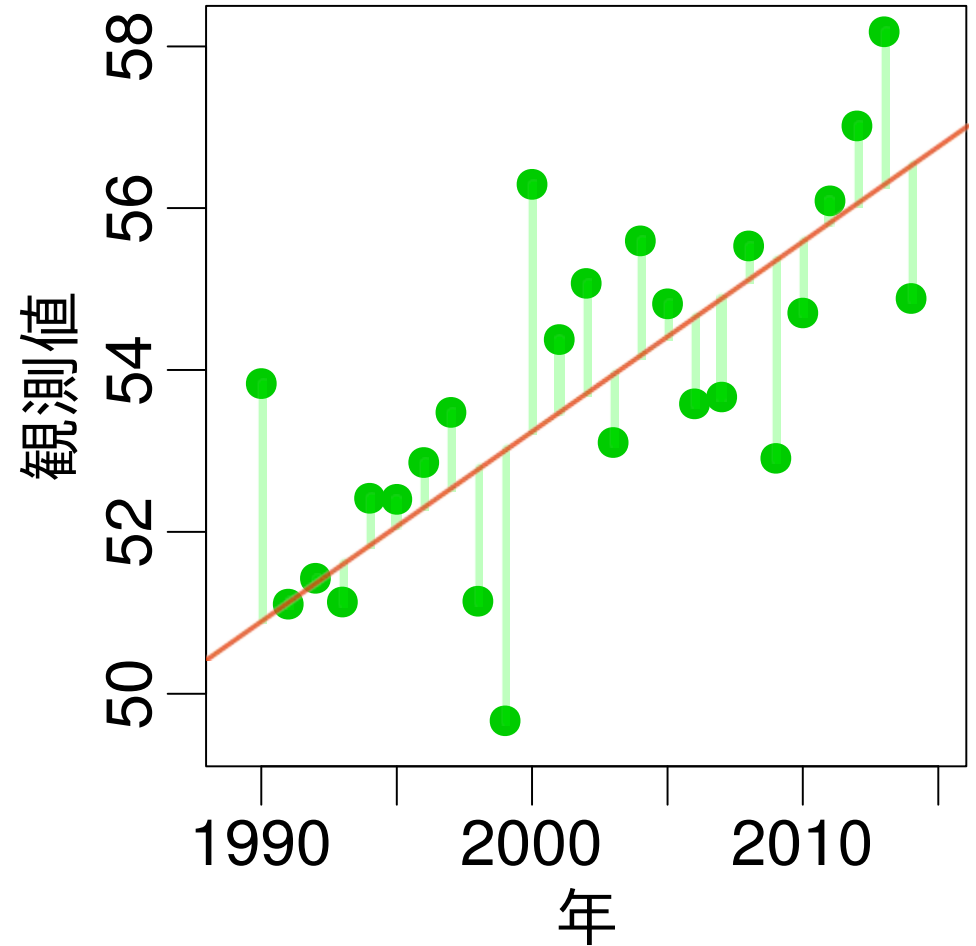
今日の要点

時系列データの解析は
階層ベイズモデル化した
状態空間モデルを使うのが便利

時系列の「ずれ」



GLM のずれ



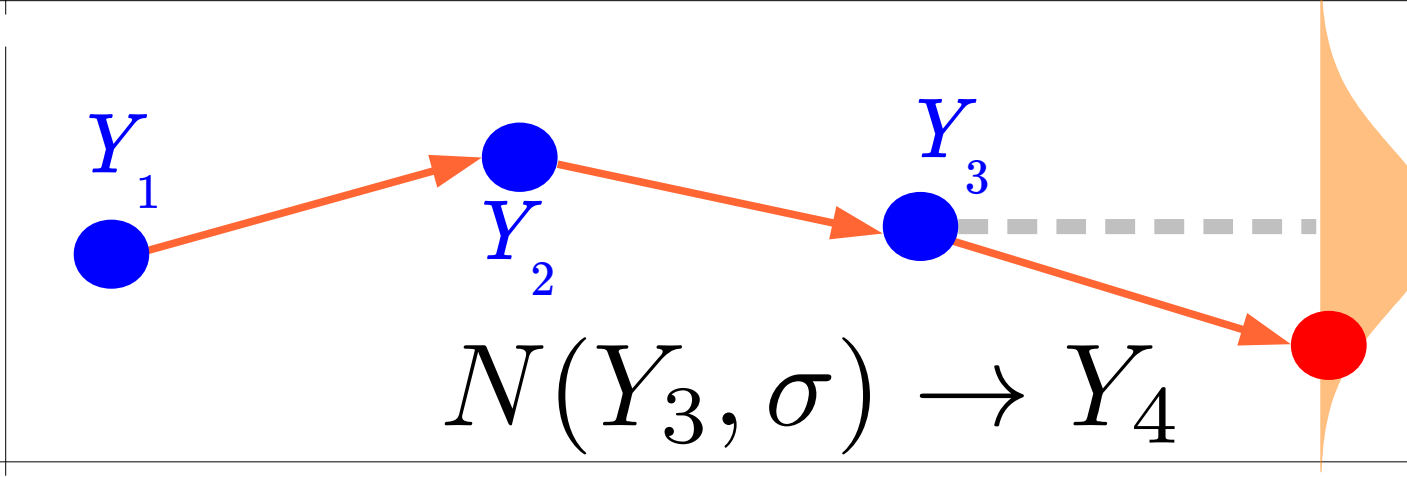
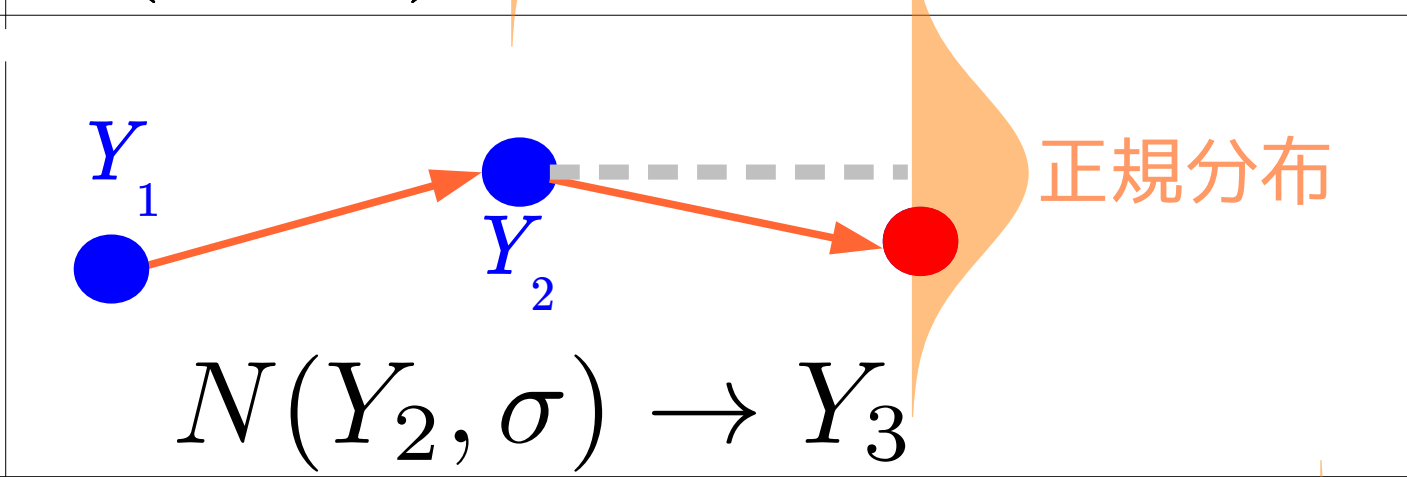
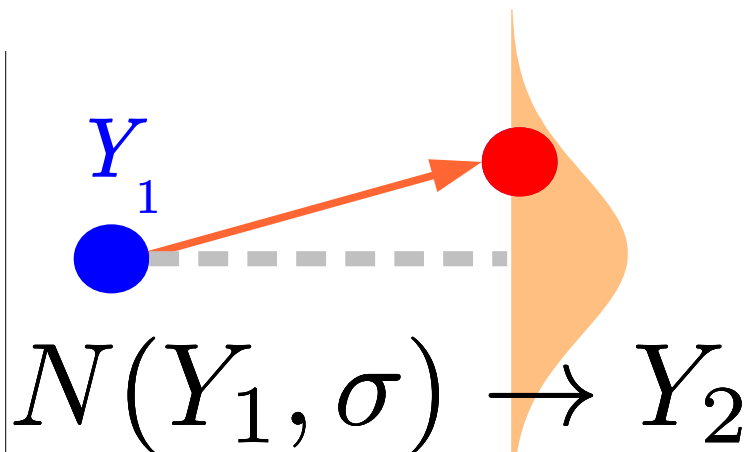
直線からのずれがちがう！

時間的自己相関がある

時間的自己相関がない

変数
 Y

ランダムウォーク
もっとも単純な
モデル



時間 t

状態空間モデル

二種類の σ をもつ

観測の誤差

$$N(y_t, \sigma_2) \rightarrow Y_t$$

観測データ Y_1

Y_2

Y_3

y_1

y_2

y_3

y_4

$$N(y_t, \sigma_1) \rightarrow y_{t+1}$$

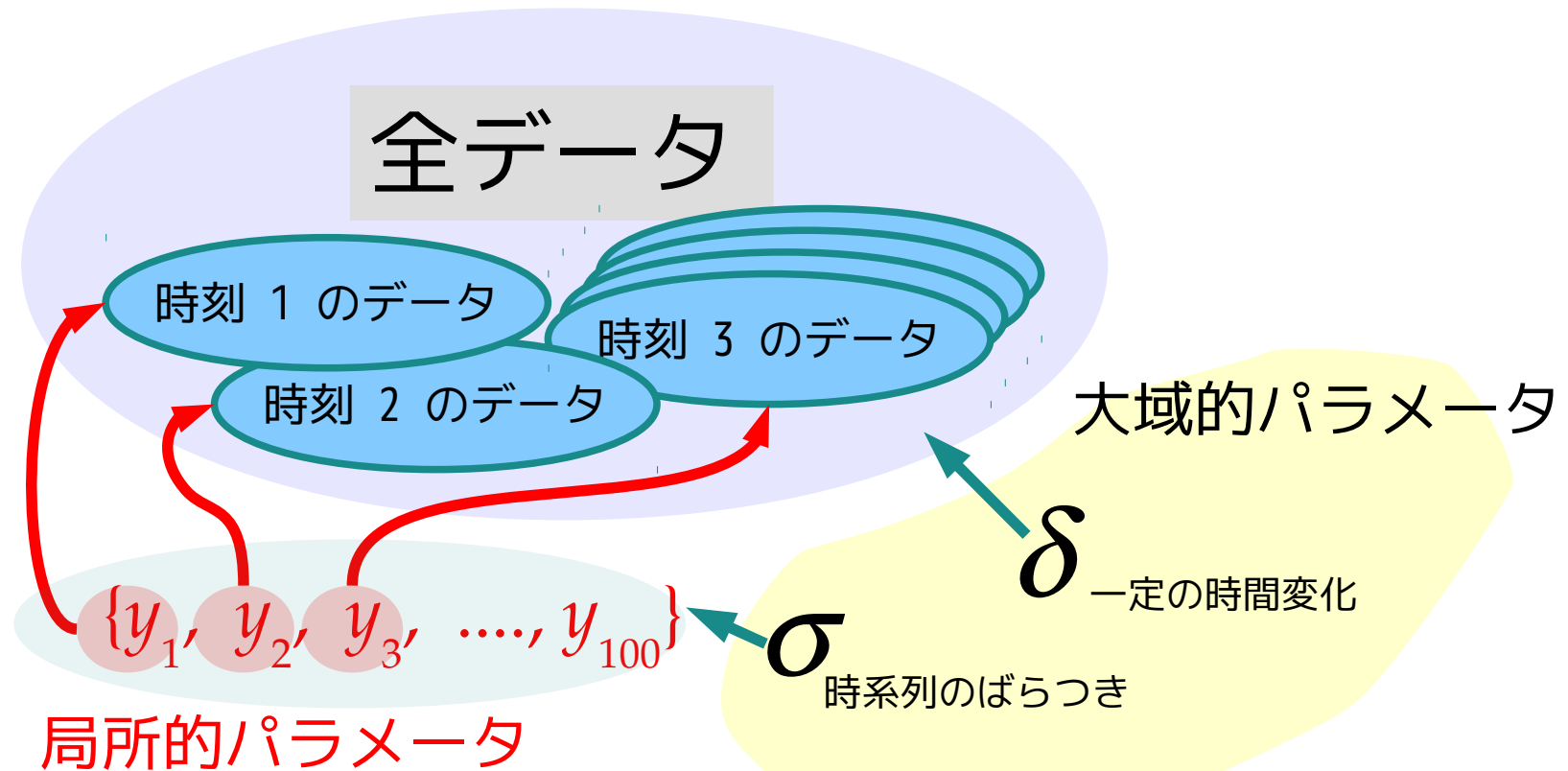
状態変数の変化

時間 t

観測できない世界 (状態空間)

状態空間モデルは階層ベイズモデル

多数の「似たようなパラメーター」たちに
「適切」な制約を加えて推定できる



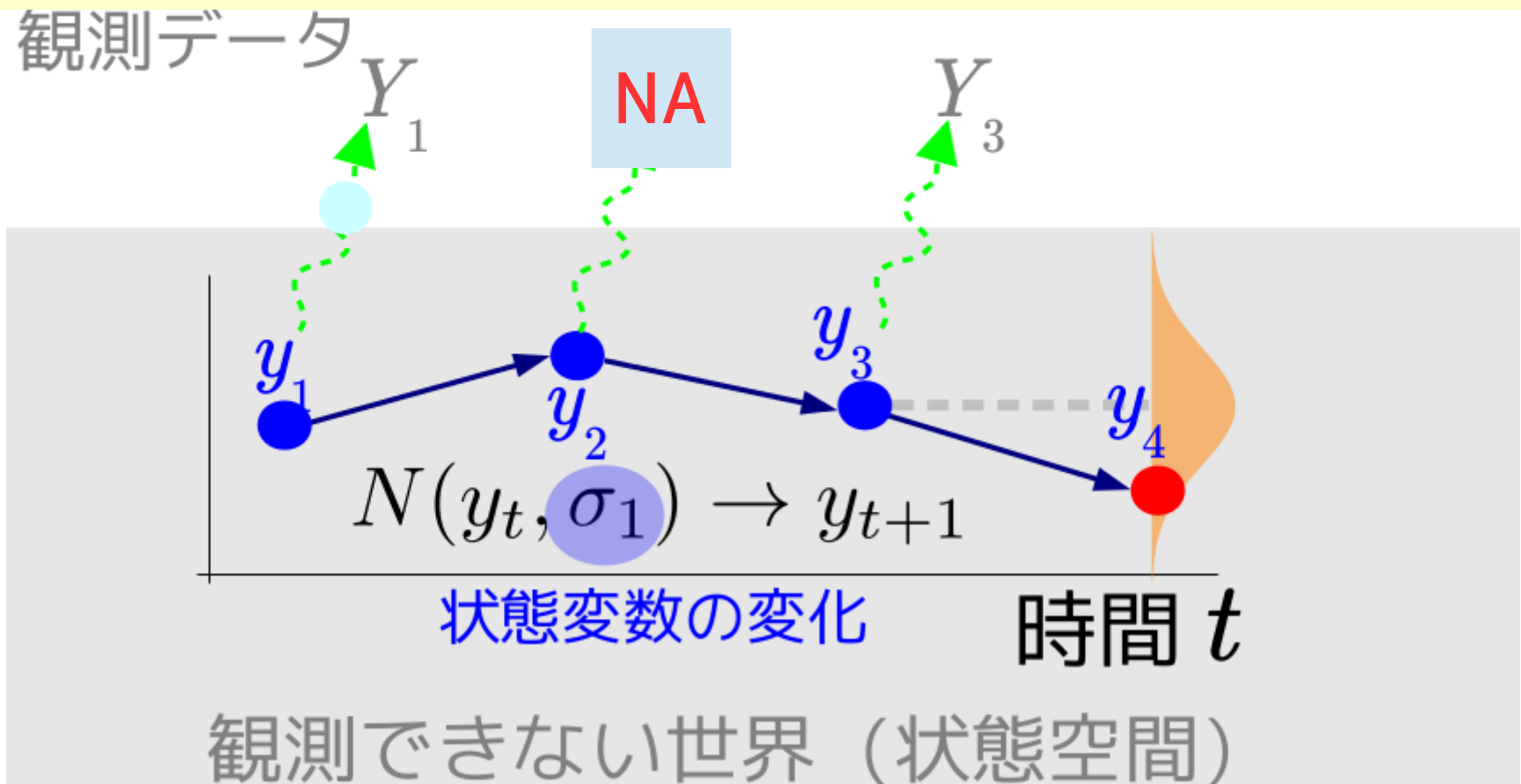
(たくさんの時点・個体・調査地……)

状態空間モデルを使う利点

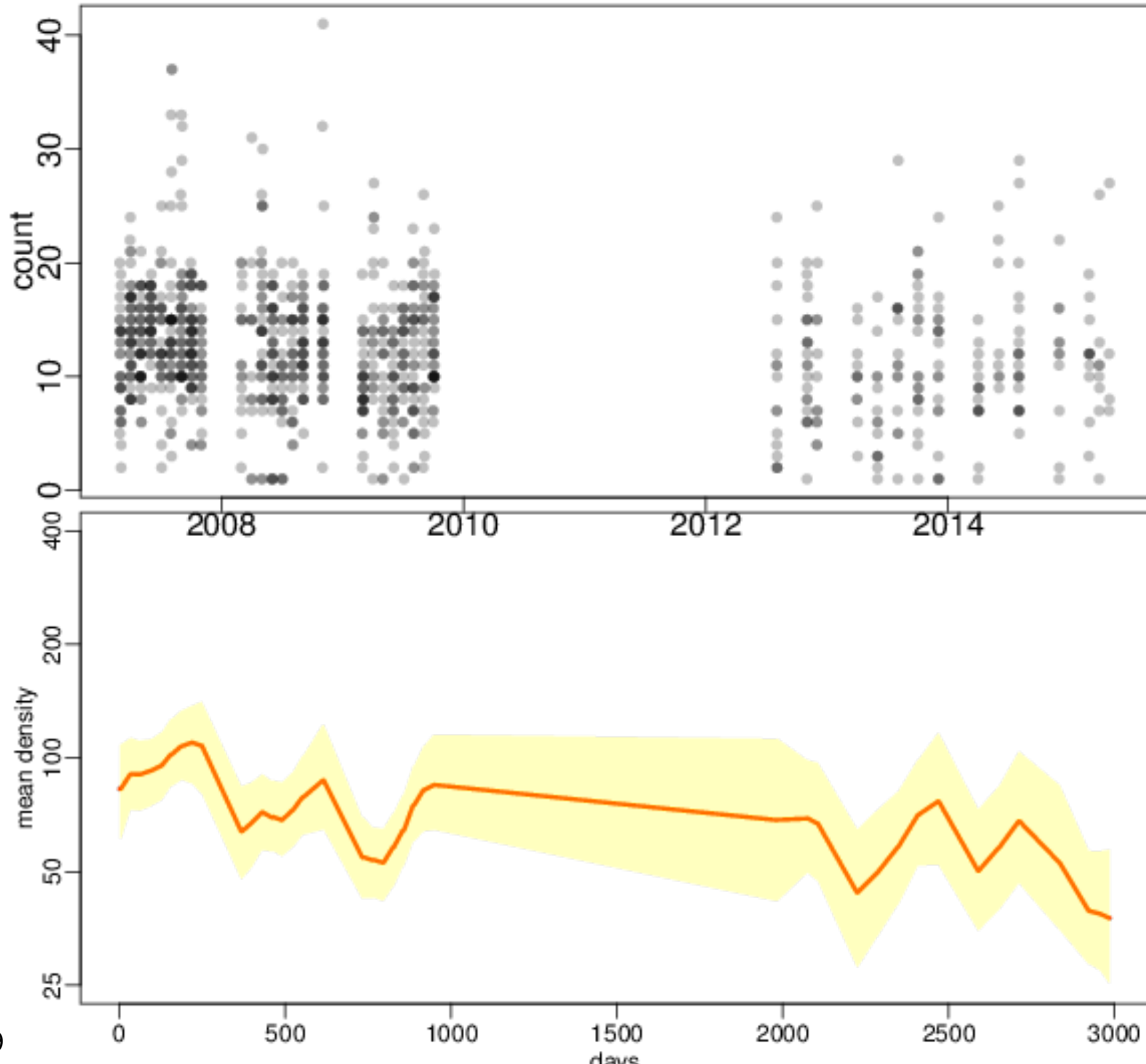
欠測とか不等間隔とか

状態空間モデル + 観測モデル

欠測があっても問題ない
「補完」の必要なし!



不等間隔データでも何とかできます!



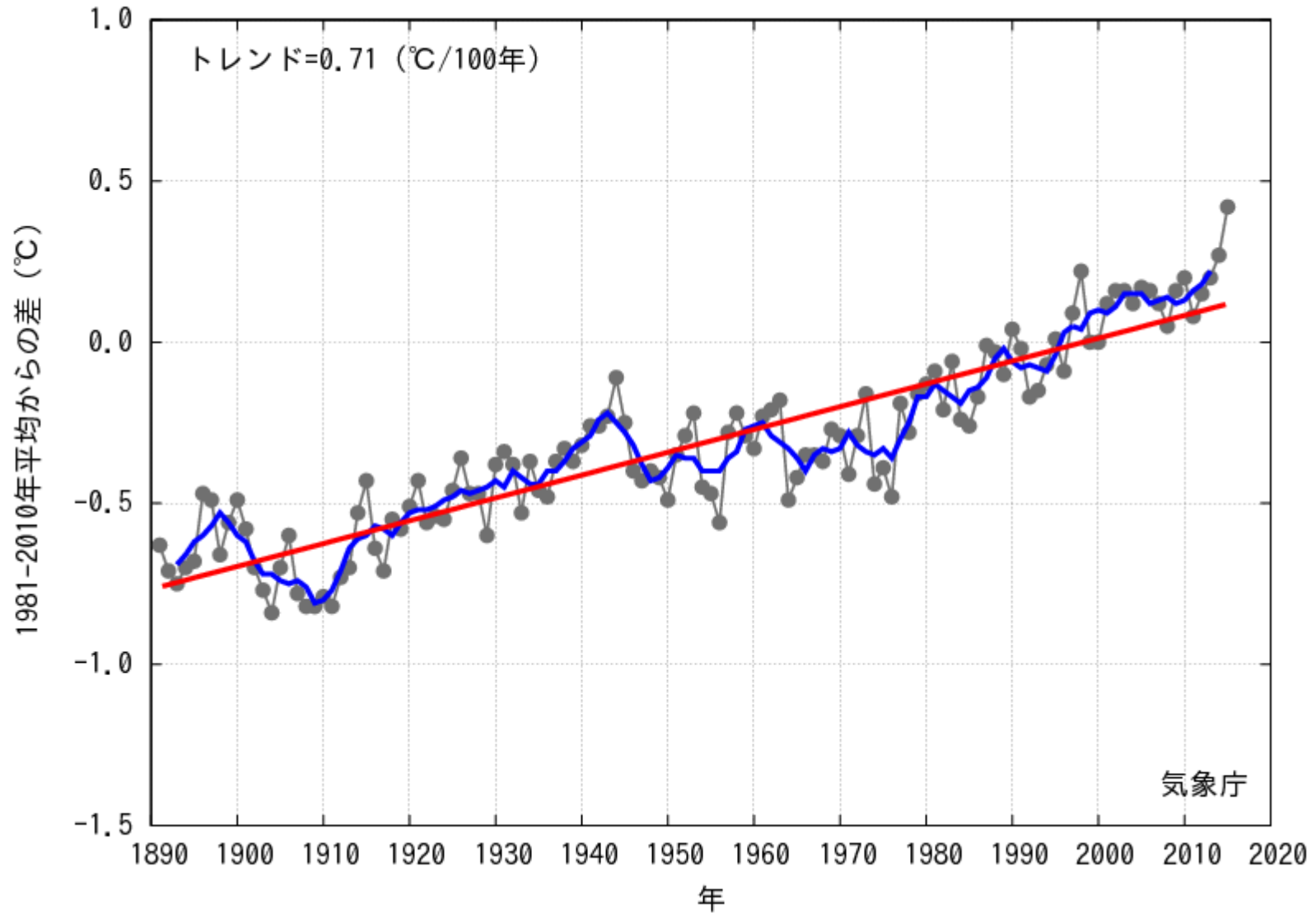
状態空間モデルを使う利点

「ばらばら解析」の回避

気象庁のデータ解析？

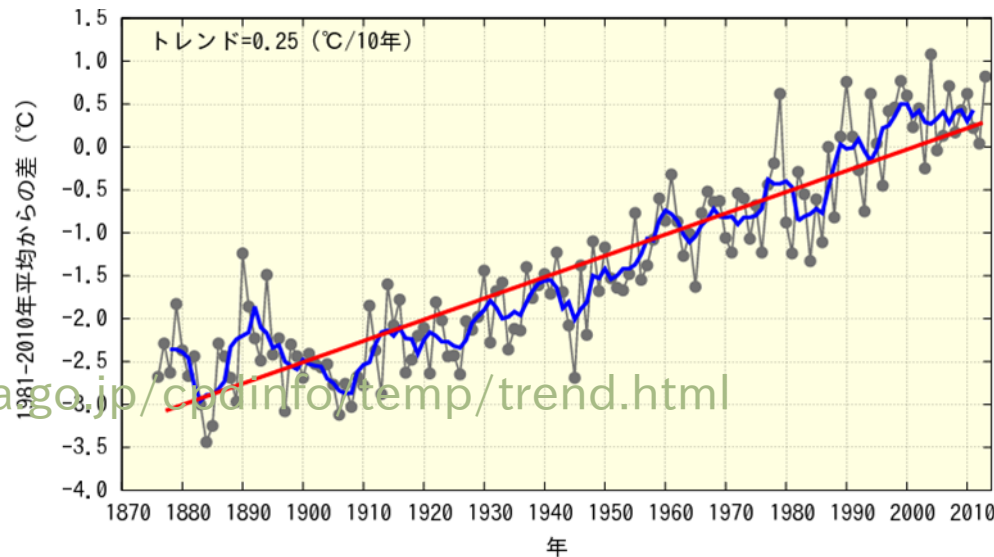
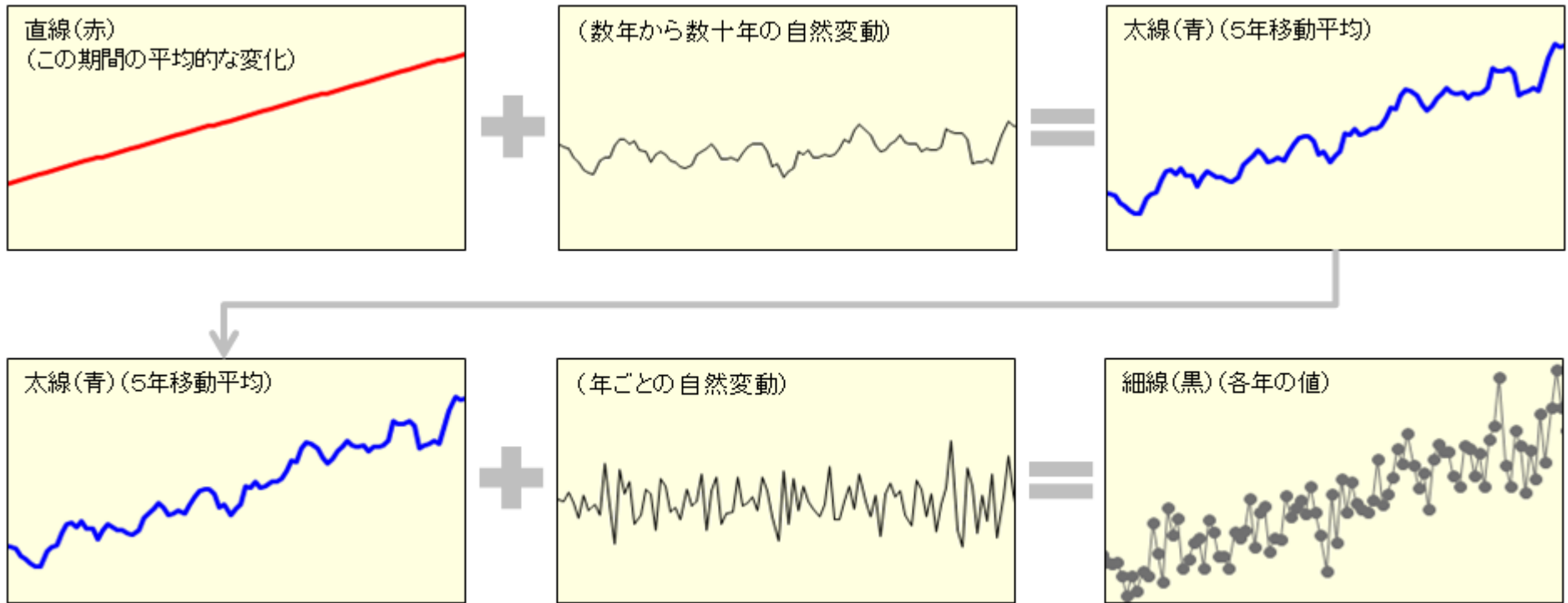
気象庁の長期変化傾向（トレンド）の解説

世界の年平均気温偏差



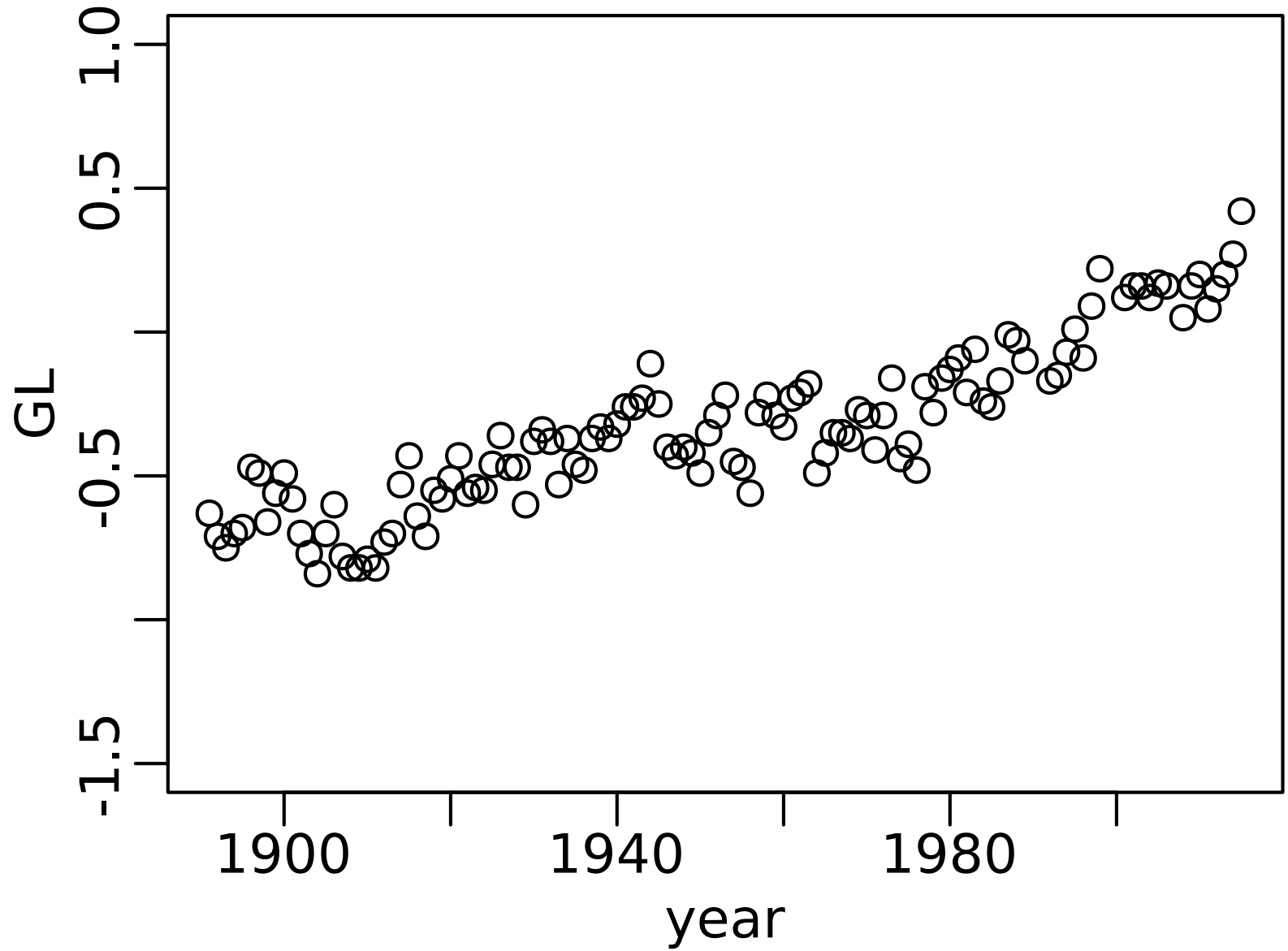
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html

気象庁の長期変化傾向（トレンド）の解説



<http://www.data.jma.go.jp/cpd/info/temp/trend.html>

公開データをダウンロード

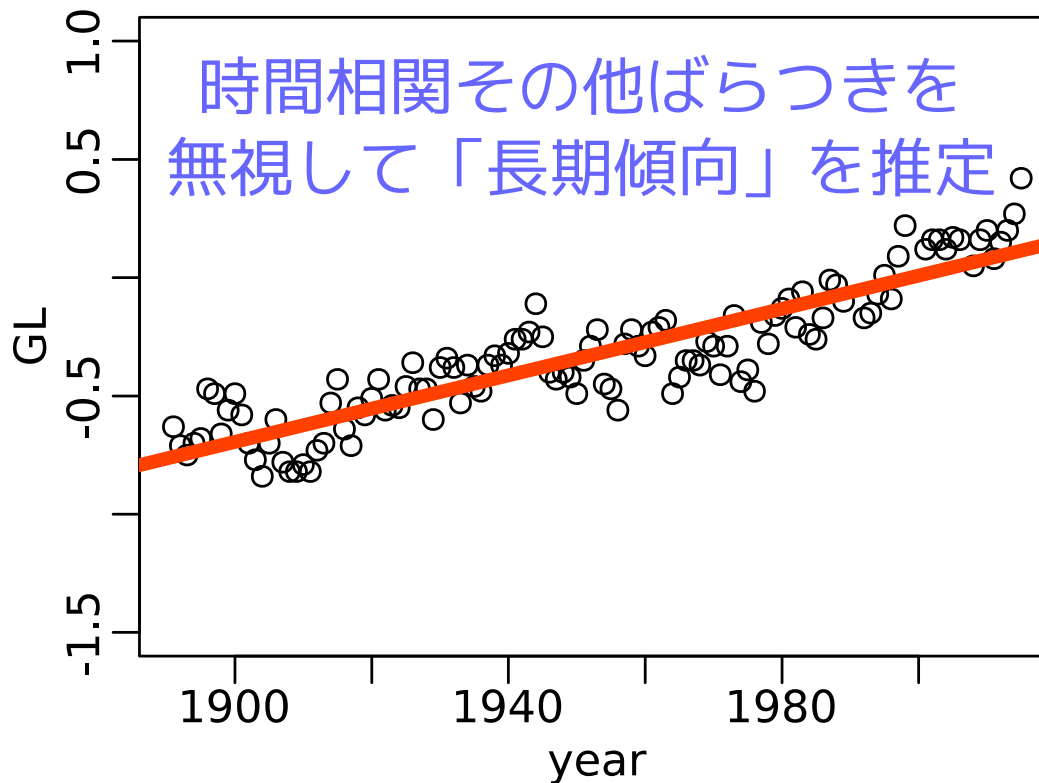


「とりあえず、直線回帰」の危険性

```
> summary(glm(GL ~ year, data = d))
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-1.41e+01	6.21e-01	-22.6	<2e-16
year	7.03e-03	3.18e-04	22.1	<2e-16



確率 1京ぶんの 2?

100年
あたり
0.70°C

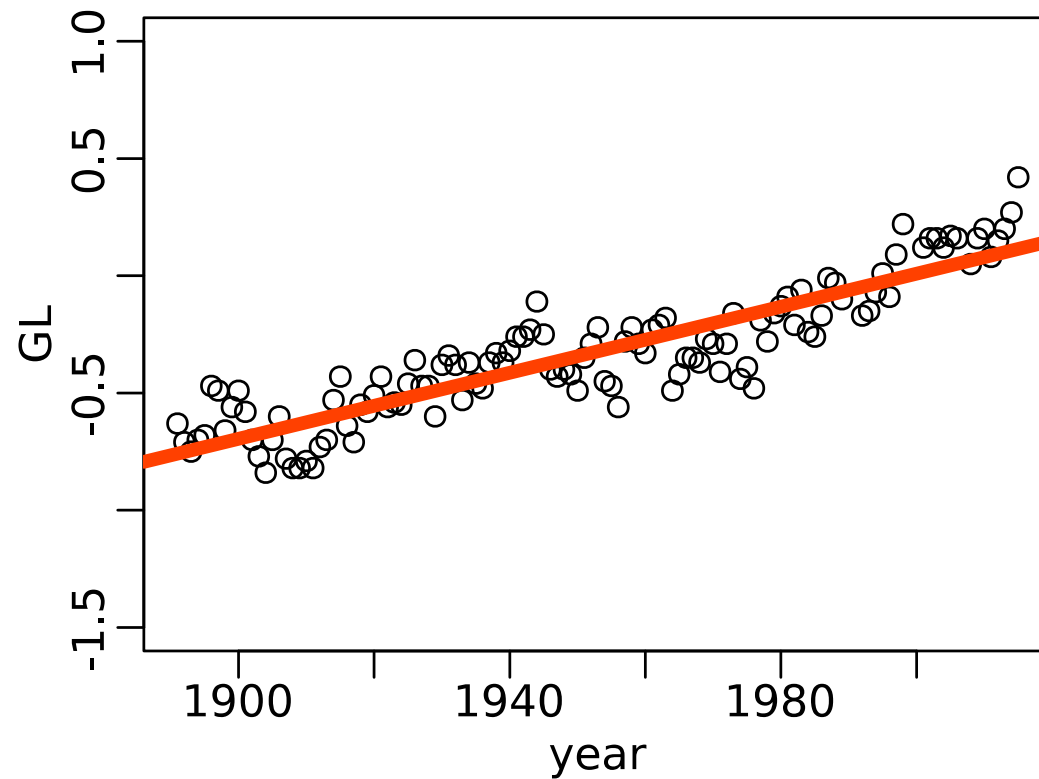
直線あてはめ (GLM) が予測した「温暖化」

```
> summary(glm(GL ~ year, data = d))
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-1.41e+01	6.21e-01	-22.6	<2e-16
year	7.03e-03	3.18e-04	22.1	<2e-16

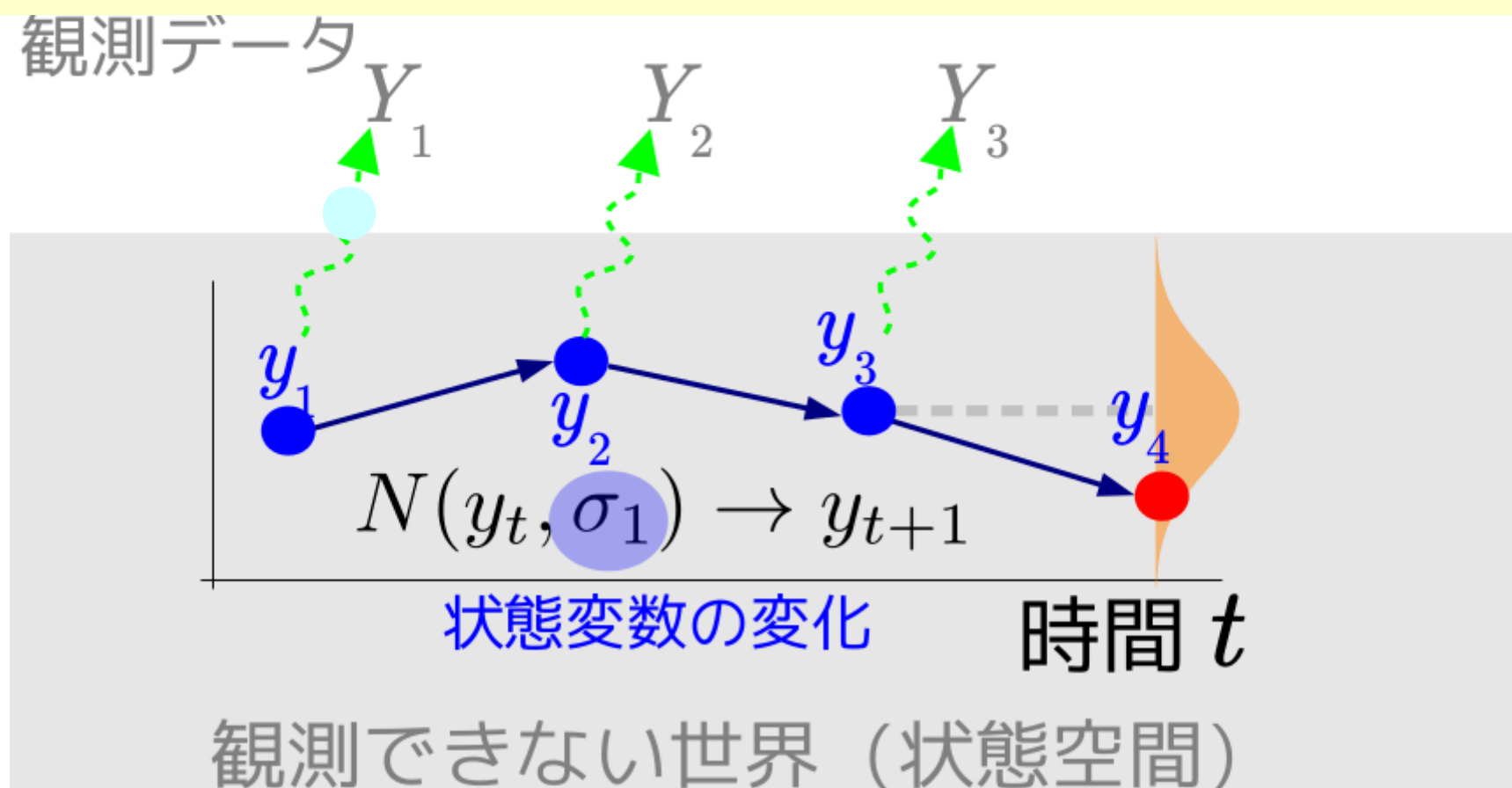
100年
あたり
0.70°C



状態空間モデル：すべてを同時に推定

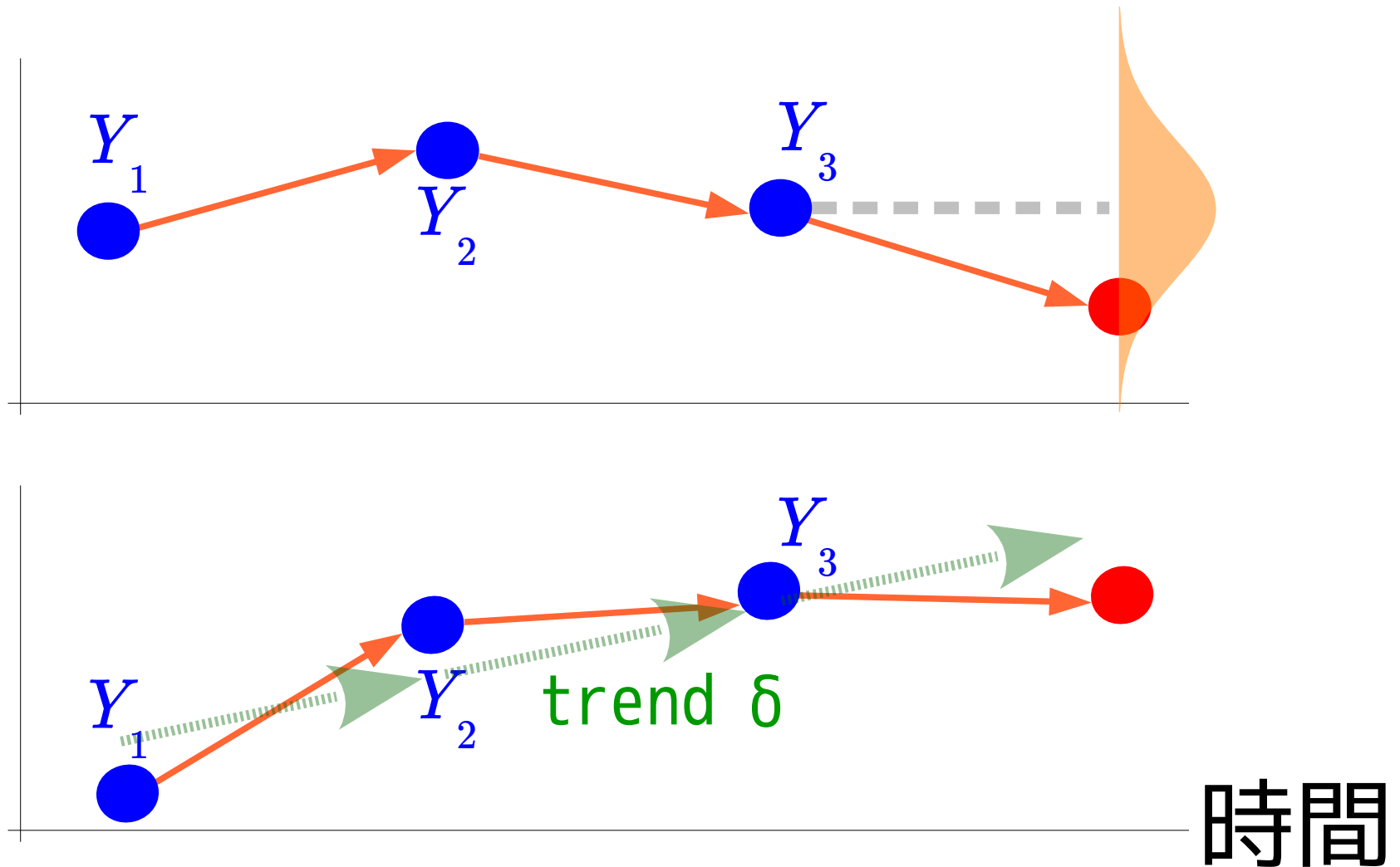
ランダムウォーク+各年独立なノイズ

観測データ



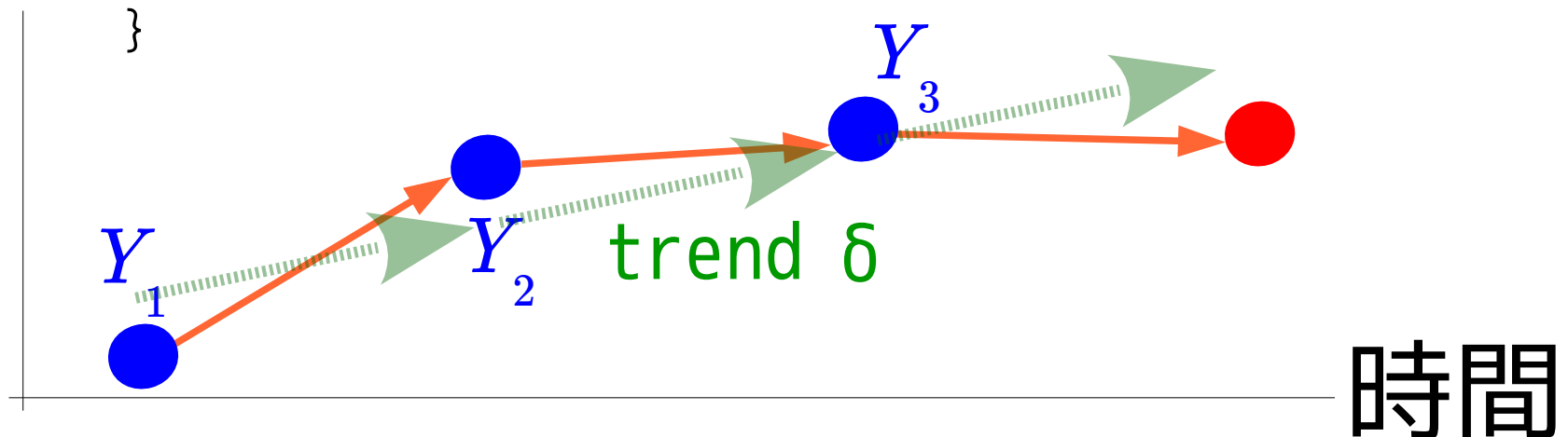
状態空間モデル：すべてを同時に推定

ランダムウォーク+各年独立なノイズ



状態空間モデル：すべてを同時に推定

```
Y[1] ~ dnorm(y[1], tau[2])
y[1] ~ dnorm(0.0, Tau.Noninformative)
for (t in 2:N.Y) {
  Y[t] ~ dnorm(y[t], tau[2])
  y[t] ~ dnorm(m[t], tau[1])
  m[t] <- delta + y[t - 1]
}
delta ~ dnorm(0, Tau.Noninformative)
for (k in 1:2) {
  tau[k] <- 1.0 / (s[k] * s[k])
  s[k] ~ dunif(0, 1.0E+4)
}
```



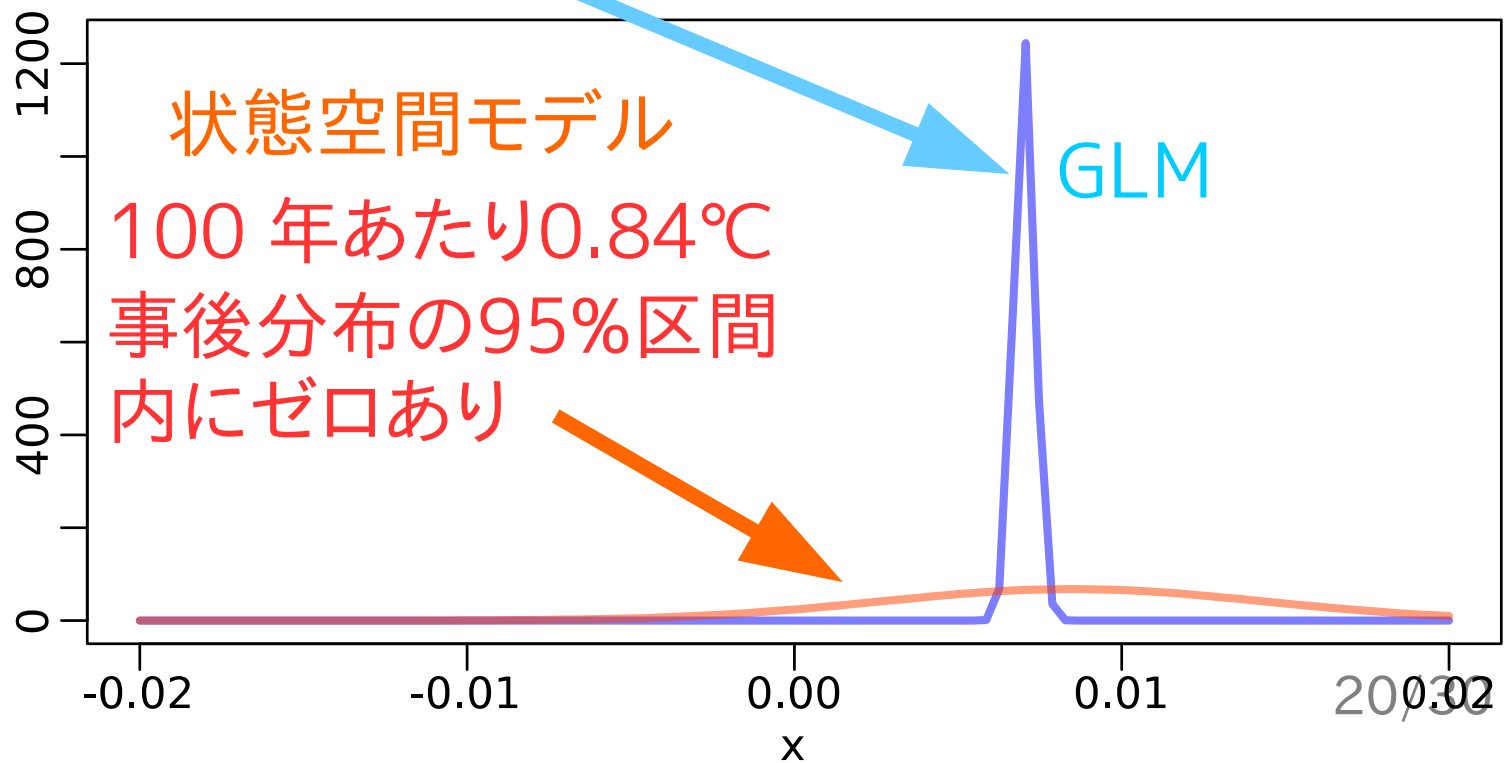
状態空間モデルが予測した「温暖化」

```
> summary(glm(GL ~ year, data = d))
```

Coefficients:

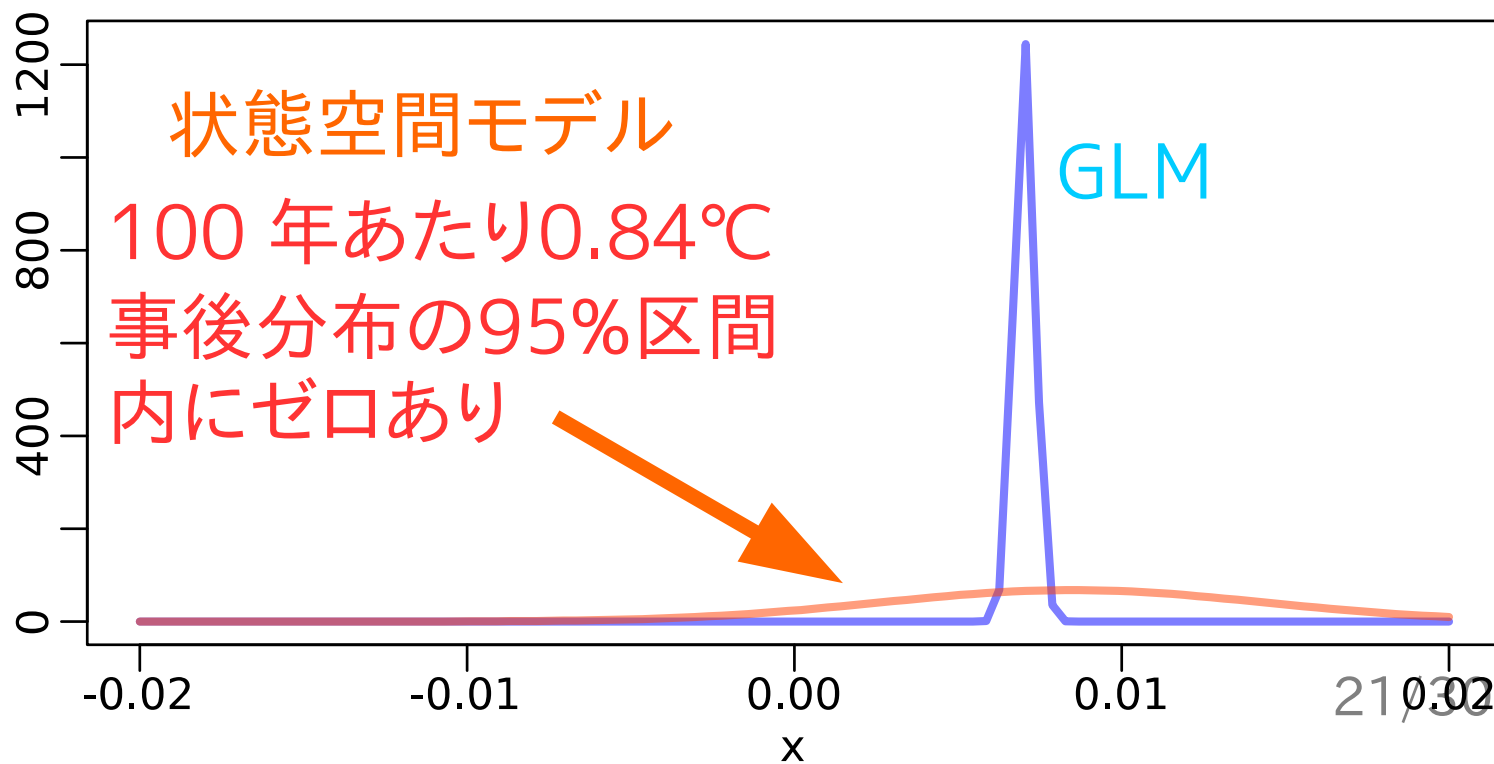
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-1.41e+01	6.21e-01	-22.6	<2e-16
year	7.03e-03	3.18e-04	22.1	<2e-16

100年
あたり
0.70°C



観測値間に相関あり → サンプルサイズが小さくなる

100年
あたり
0.70°C



疑わしい回帰
spurious regression

時系列どうしの回帰

time series $Y \sim$ time series X

時系列データの統計モデリング

でやめたほうがいいこと

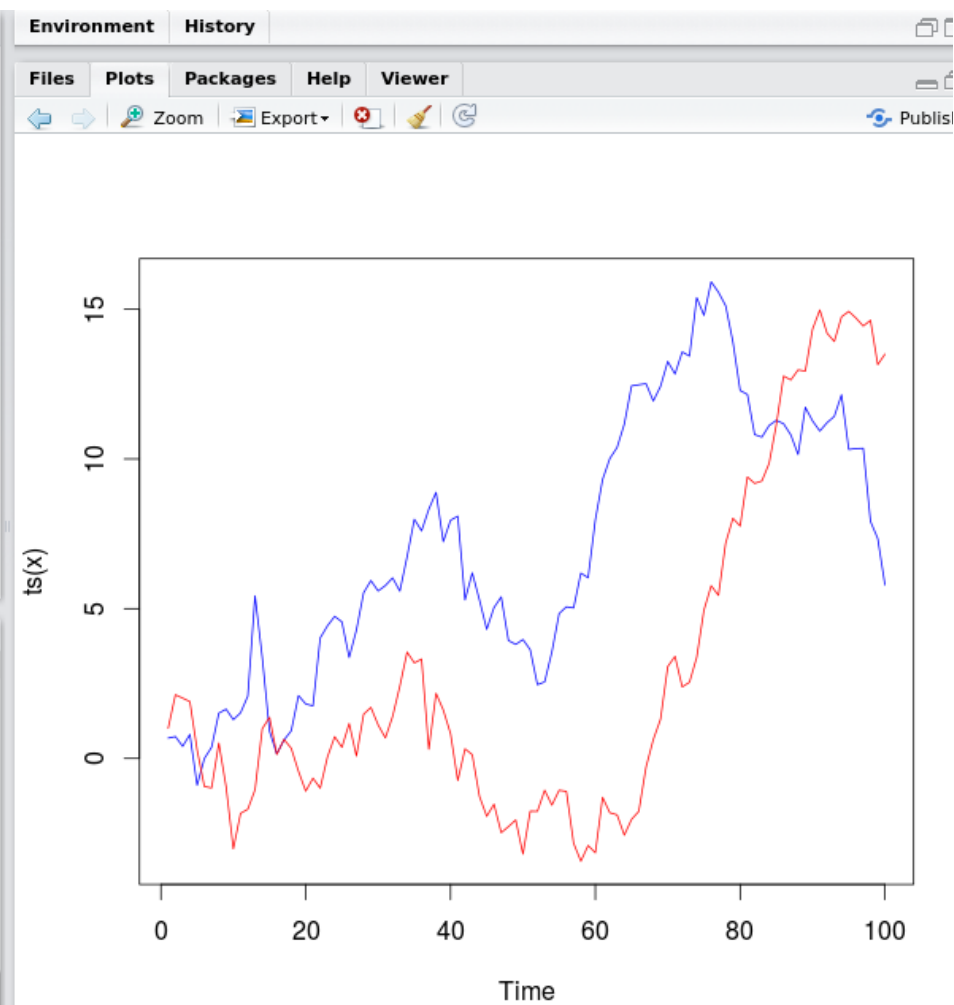
- ・ GLM: $Y(t) \sim t$ とか $Y(t) \sim X(t)$
- ・ 段階的解析: 観測値の四則演算
- ・ 「残差」の再解析
- ・ 「対応」の無視 – 再測は時系列

「見せかけの回帰」 spurious regression

```
spurious_regression.R x
Source on Save
Run
Source
1 x <- cumsum(rnorm(100))
2 y <- cumsum(rnorm(100))
3 plot(ts(x), col = "blue", ylim = range(x, y))
4 lines(ts(y), col = "red")
5 print(summary(glm(y ~ x))$coefficients)

5:40 (Top Level) R Script

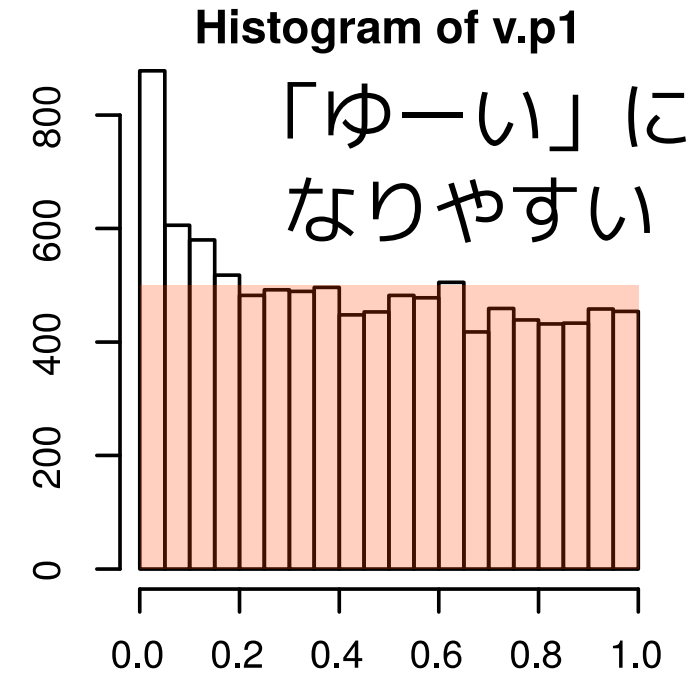
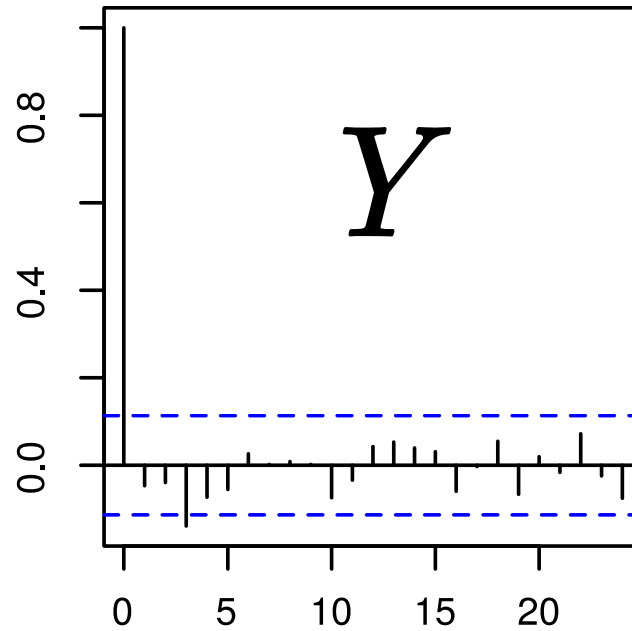
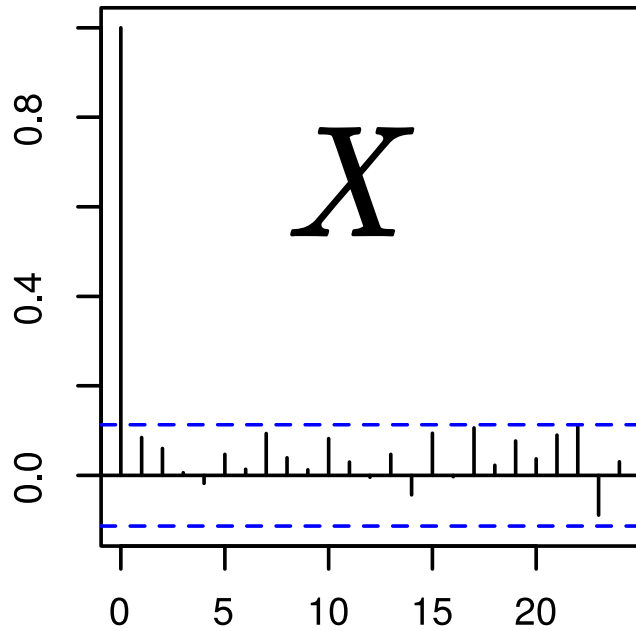
Console
> plot(ts(x), col = "blue", ylim = range(x, y))
> lines(ts(y), col = "red")
> print(summary(glm(y ~ x))$coefficients)
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.67120    0.90288  -1.8510 6.7186e-02
x             0.64551    0.10803   5.9753 3.7127e-08
```



ちょっとだけ実演してみます

ノイズの大きな時系列にうもれたワナ？

時間的自己相関のない時系列？

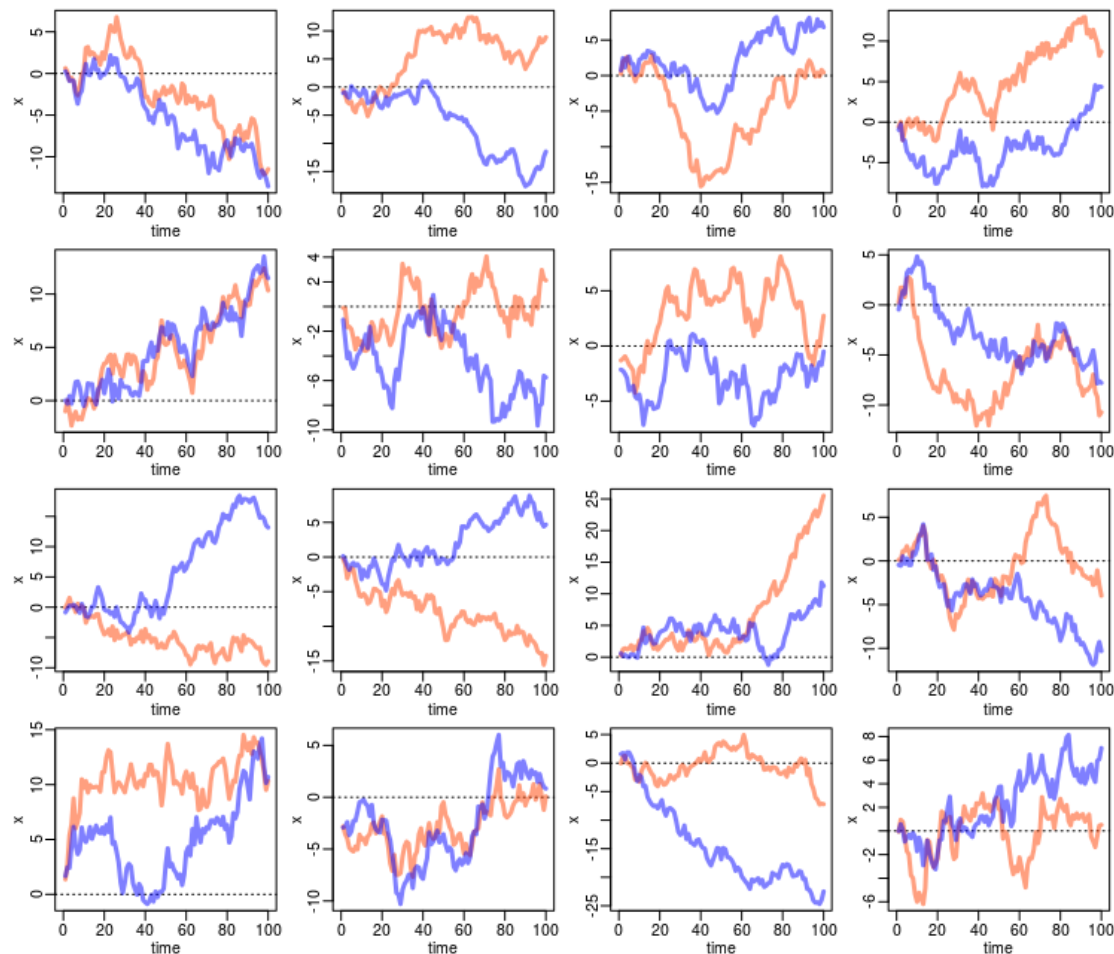
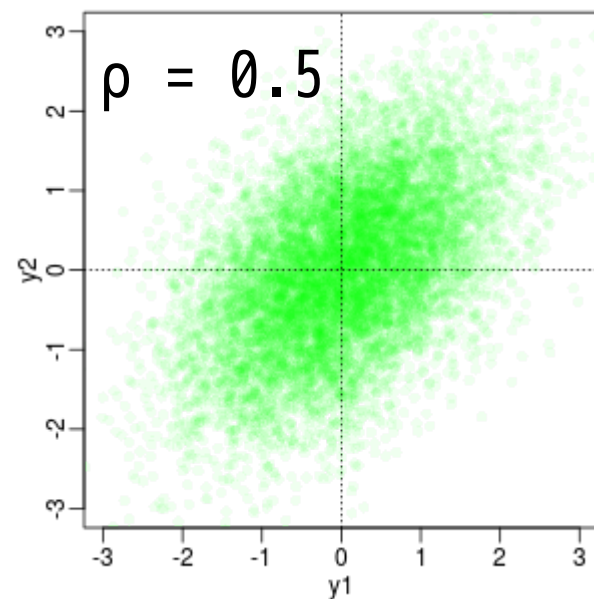
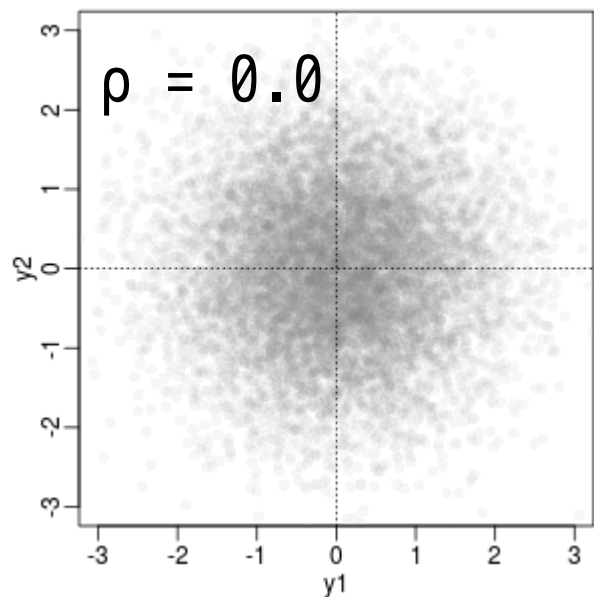


しかし $\text{glm}(Y \sim X)$ とすると...

疑わしい回帰 spurious regression

状態空間モデル (SSM) で
あつかえないか?

二変量正規分布とランダムウォーク



二変量正規分布を部品とする状態空間モデル

```
for (i in 1:N.Y) {  
  Y[i, 1:2] ~ dnorm(mu[1:2], Omega[1:2, 1:2])  
}  
mu[1] ~ dunif(-1.0E+4, 1.0E+4)  
mu[2] ~ dunif(-1.0E+4, 1.0E+4)  
Omega[1:2, 1:2] <- inverse(VarCov[1:2, 1:2])  
VarCov[1, 1] <- sigma[1] * sigma[1]  
VarCov[1, 2] <- sigma[1] * sigma[2] * rho  
VarCov[2, 1] <- sigma[2] * sigma[1] * rho  
VarCov[2, 2] <- sigma[2] * sigma[2]  
sigma[1] ~ dunif(0.0, 1.0E+4)  
sigma[2] ~ dunif(0.0, 1.0E+4)  
rho ~ dunif(-1.0, 1.0)
```

(R で実演)

階層ベイズモデルである 状態空間モデル から得られた事後分布

```
3 chains, each with 5200 iterations (first 200 discarded)
n.sims = 15000 iterations saved
      mean      sd    2.5%    25%    50%    75% 97.5%  Rhat  n.eff
mu[1]  -0.122  0.110  -0.342  -0.195 -0.120  -0.048 0.090  1.001  6000
mu[2]  -0.157  0.100  -0.355  -0.224 -0.157  -0.091 0.041  1.002  1500
sigma[1] 1.091  0.079   0.949   1.036  1.086   1.142 1.261  1.001  6100
sigma[2] 0.993  0.074   0.864   0.941  0.987   1.039 1.151  1.001  4100
rho      0.568  0.070   0.420   0.523  0.573   0.617 0.693  1.001 11000
```

ふたつの時系列データの変動が
相関しているかどうかを特定できる

おしまい

The Evolution of Linear Models

