

# 体重変化の時系列解析

中澤 港(神戸大学)

Minato NAKAZAWA, Ph.D.

<minato-nakazawa@umin.net>

# そもそも体重はどうやって決まるか

- 体重 (Body Weight)  
= 除脂肪体重 (Lean Body Mass / Fat Free Mass) + 脂肪重量 (Fat Mass)
- [エネルギー消費] = 基礎代謝 + 活動時代謝
  - 基礎代謝は除脂肪体重で決まる
  - 活動時代謝は運動量 (自らの体重負荷を含む) で決まる
- [エネルギー摂取] = 食物摂取から吸収されたエネルギーの量  
≡ 炭水化物摂取量 × 4 + 脂質摂取量の一部 × 9 + タンパク質摂取量の一部 × 4
  - このうち炭水化物はほぼエネルギー源のみ
  - 脂質は必須脂肪酸を, タンパク質は不可欠アミノ酸を含み, 体の構成成分としても使われ, 機能維持にも必要なので, 摂取量の一部がエネルギー源として使われる
- [エネルギー摂取] - [エネルギー消費] = 余剰エネルギー
  - 余剰エネルギーは脂肪となって蓄積し体重を増やす (運動した分は筋肉も増えるので除脂肪体重も少しは増える)
  - 余剰エネルギー < 0 なら脂肪が分解されエネルギー源として使われ体重が減る (タンパクも分解されるので除脂肪体重も少しは減る)
  - 余剰エネルギーの分が  $\gamma$  と  $(1-\gamma)$  の割合で除脂肪体重と脂肪重量に配分されると想定すれば ( $0 < \gamma < 1$  として), 除脂肪体重変化は余剰エネルギー ×  $\delta\gamma$  と表せる
- 操作可能なのは運動量と食物摂取だが, ライフスタイル上, 運動量を変えるのは困難なので, 食物摂取を減らす。とくに 1 食当たりのご飯の量を 180g から 120g に減らすことにした  
→ [https://fooddb.mext.go.jp/details/details.pl?ITEM\\_NO=1\\_01088\\_7](https://fooddb.mext.go.jp/details/details.pl?ITEM_NO=1_01088_7) から計算すると, 毎食 302 kcal から 202 kcal へ 100 kcal 減少なので, 300 kcal/日減少

# モデル化すると？

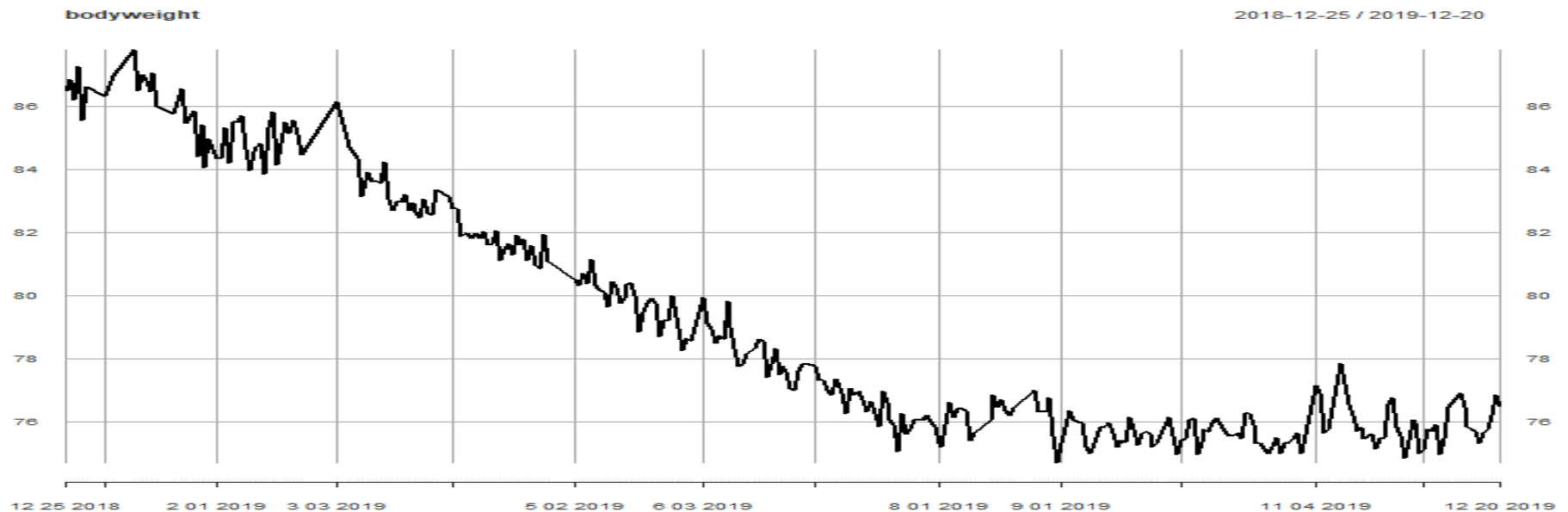
- t日における体重を  $W(t)$  , 除脂肪体重を  $LBM(t)$  , 脂肪重量を  $FM(t)$  と書く
- t日の摂取エネルギー量を  $EI(t)$  と書く
- t日の基礎代謝を  $BMR(t)$  とすると,  $BMR(t) = \alpha LBM(t)$  と書ける
- t日の活動代謝を  $AMR(t)$  , 活動量を歩数や加速度積算値や心拍積算値などで表すことにして  $X(t)$  とすると,  $AMR(t) = \beta X(t)W(t)$  と仮定できる
- $$W(t+1) = W(t) + \delta[EI(t) - \{BMR(t) + AMR(t)\}]$$
$$= W(t) + \delta[EI(t) - \alpha LBM(t) - \beta X(t)\{LBM(t) + FM(t)\}]$$
$$= W(t) + \delta[EI(t) - \{\alpha + \beta X(t)\}LBM(t) - \beta X(t)FM(t)]$$
- 実際には  $EI(t)$  や  $X(t)$  は日々ばらつくし(一定にするのは嫌だし),  $\gamma$  も  $X(t)$  に応じて変動するはずだが,  $EI(t) \equiv E$  ,  $\beta X(t) \equiv \beta'$  と一定であると仮定し,  $LBM$  と  $FM$  の変化に分解する。  $E$  と  $\beta'$  に応じて  $LBM$  と  $FM$  は一定値に収束する均衡点があるはず
- $$LBM(t+1) + FM(t+1) = LBM(t) + FM(t) + \delta\{E - (\alpha + \beta')LBM(t) - \beta'FM(t)\}$$
  - $$LBM(t+1) - LBM(t) = \delta\gamma\{E - (\alpha + \beta')LBM(t) - \beta'FM(t)\}$$
$$\Leftrightarrow LBM(t+1) = \{1 - \delta\gamma(\alpha + \beta')\}LBM(t) + \delta\gamma E - \delta\gamma\beta'FM(t)$$
  - $$FM(t+1) - FM(t) = \delta(1 - \gamma)\{E - (\alpha + \beta')LBM(t) - \beta'FM(t)\}$$
$$\Leftrightarrow FM(t+1) = \{1 - \delta(1 - \gamma)\beta'\}FM(t) + \delta(1 - \gamma)E - \delta(1 - \gamma)(\alpha + \beta')LBM(t)$$
- $\alpha$  ,  $\gamma$  ,  $\delta$  の3つを未知パラメータとし,  $\beta'$  と  $E$  に一定値を与えれば,  $LBM(t)$  と  $FM(t)$  の系列を逐次計算し, その和としての  $W(t)$  の実測値の差の二乗和が最小になるような未知パラメータを探索させる関数が定義可能なはず  
→ エネルギー摂取量減少の体重減少への影響を予測できるはず
- 均衡点では,  $E = (\alpha + \beta')LBM + \beta'FM$

# ほぼ1年間(2018/12/25→2019/12/20), 毎食のご飯を180g→120gにした結果

- 起床直後の HBF-253W 測定記録(自動的に WiFi でスマホ経由でサーバに飛ぶ)
  - 体重 86.45kg→76.45kg
  - 体脂肪率 28.7%→26.1%
  - LBM 61.64kg→56.50kg
  - FM 24.81kg→19.95kg
    - $2800(\text{kcal}) = (\alpha + \beta') \times 61 + \beta' \times 25 = 61\alpha + 86\beta'$
    - $2500(\text{kcal}) = (\alpha + \beta') \times 57 + \beta' \times 19 = 57\alpha + 76\beta'$   
ならば,  $\alpha = 8.27$ ,  $\beta' = 26.69$
    - 例えば摂取カロリーが 2500→2200 だと  $\alpha < 0$  となり不合理
  - OMRON のわたしムーブというサービスではデータがダウンロードできないので, 体重のみ手作業でテキストデータとして入力した(LBM も FM もデータとして記録されていて参照可能だが未入力)
- データ <http://minato.sip21c.org/swtips/mybodyweight.txt>
- コード <http://minato.sip21c.org/swtips/mybodyweight.R>

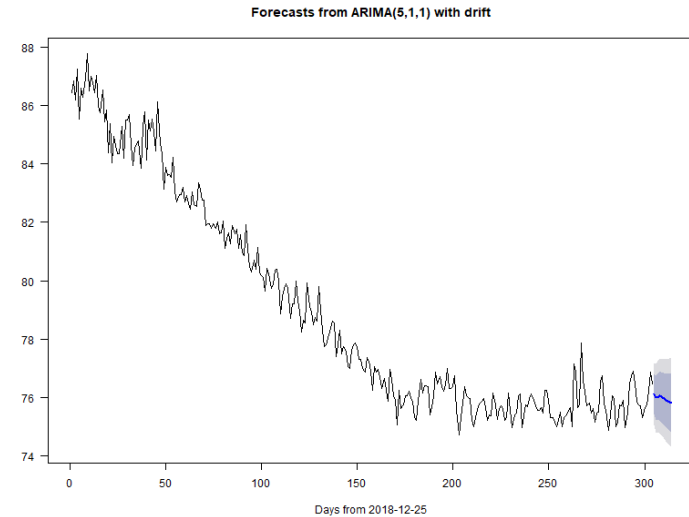
# まずは xts パッケージを使って時系列 データとしてプロットしてみる

```
if (require(xts)==FALSE) {  
  install.packages("xts", dep=TRUE)  
  library(xts)  
}  
x <- read.delim("http://minato.sip21c.org/swtips/mybodyweight.txt")  
bodyweight <- as.xts(read.zoo(x)) # 時系列データクラスのオブジェクトに変換  
xx <- subset(x, complete.cases(x)) # 欠損除去した普通のデータフレーム  
mydata <- data.frame(date=as.Date(xx$Date), Weight=xx$Weight) # 日付をDateクラスに  
par(family="sans", las=1)  
plot(bodyweight) # plot.xts() になる
```



# パッケージ forecast による解析 arima モデルの自動当てはめ

```
library(forecast)
fit <- auto.arima(bodyweight)
summary(fit)
par(family="sans", las=1)
plot(forecast(bodyweight,
model=fit),
xlab=sprintf("Days from %s",
as.character(mydata$date[1])))
```



```
Series: bodyweight
ARIMA(5,1,1) with drift
```

```
Coefficients:
```

	ar1	ar2	ar3	ar4	ar5	ma1	drift
	0.1905	-0.0241	-0.1062	0.0145	0.0478	-0.7102	-0.0346
s.e.	0.2502	0.1403	0.1097	0.1076	0.0895	0.2419	0.0102

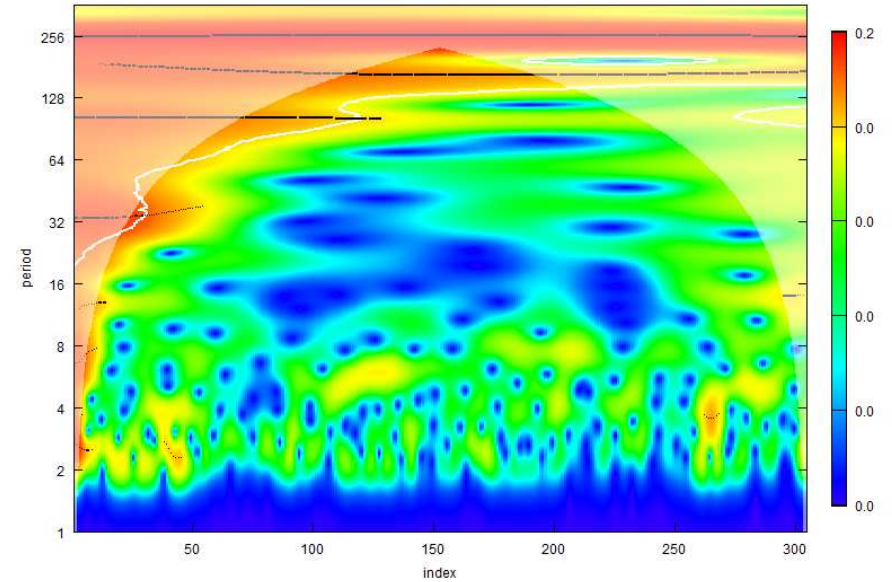
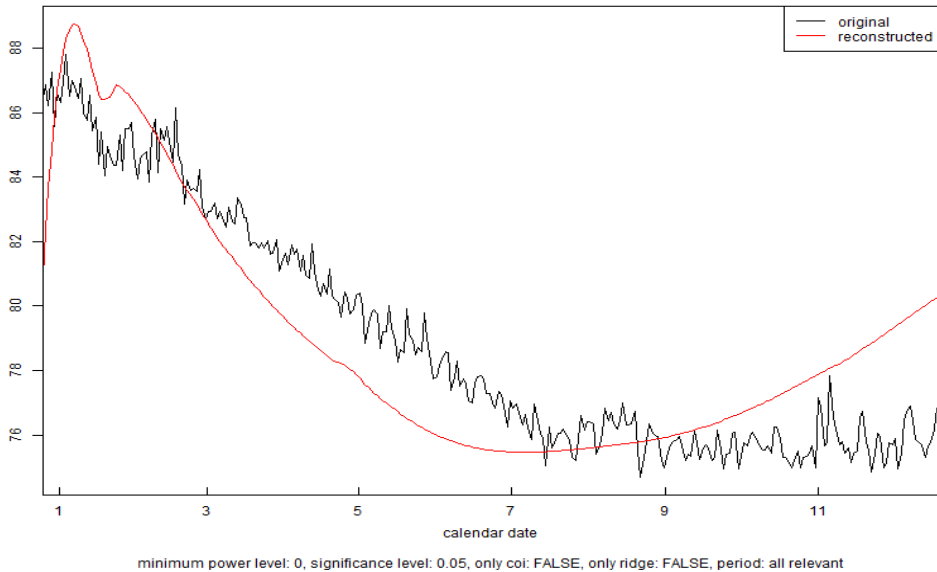
```
sigma^2 estimated as 0.2911: log likelihood=-239.73
AIC=495.45 AICc=495.94 BIC=525.16
```

```
Training set error measures:
```

	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
Training set	0.001182696	0.5324165	0.4060953	0.001680321	0.5113581	0.8682394	0.0005444334

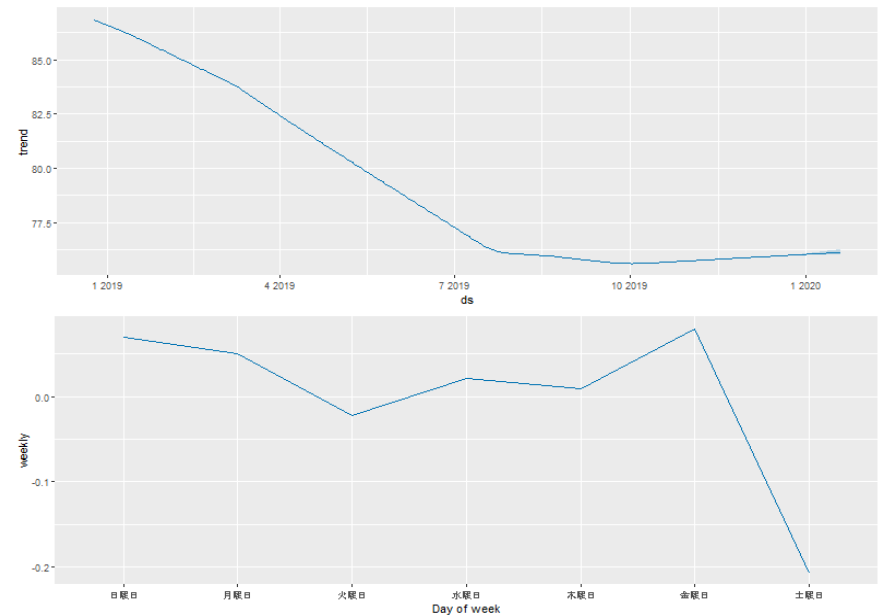
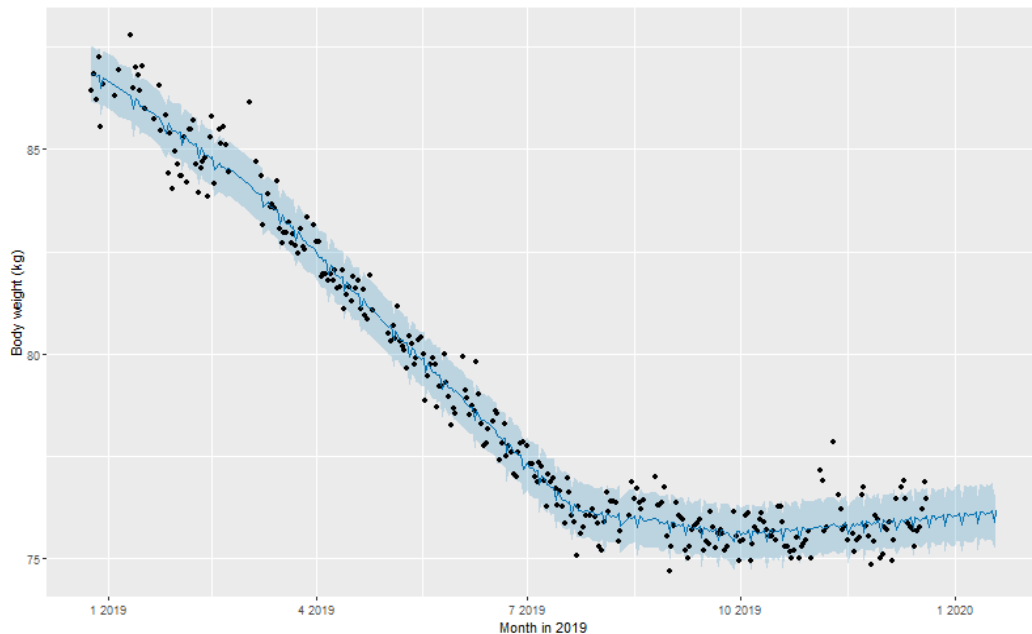
```
12/21/19
```

# Wavelet 解析



```
if (require(WaveletComp)==FALSE) {  
  install.packages("WaveletComp", dep=TRUE)  
  library(WaveletComp)  
}  
res <- analyze.wavelet(mydata, "Weight", loess.span=0, dt=1, dj=1/250,  
  lowerPeriod=1, upperPeriod=365, make.pval=TRUE)  
reconstruct(res, show.date=TRUE, legend.coords="topright")  
wt.image(res, n.levels=250)
```

# パッケージ prophet による解析



```
if (require(prophet)==FALSE) {  
  install.packages("prophet", dep=TRUE)  
  library(prophet)  
}  
df <- data.frame(ds=as.Date(xx$Date), y=xx$Weight)  
m <- prophet(df)  
future <- make_future_dataframe(m ,periods=30)  
forecast <- predict(m, future)  
plot(m, forecast, xlab="Month in 2019", ylab="Body weight (kg)")  
prophet_plot_components(m, forecast)
```

明らかに土曜日に体重減少している



# 当初考えたモデルを当てはめてみる→ optim() で求めた最適パラメータはどれかが負になってしまう

```
expWt <- function(alpha=alpha1, gamma=0.1, delta=0.05) {  
  LBM <- FM <- numeric(days)  
  LBM[1] <- LBM0  
  FM[1] <- FM0  
  for (i in 1:(days-1)) {  
    LBM[i+1] <- (1-delta*gamma*(alpha+beta))*LBM[i] + delta*gamma*E - delta*gamma*beta*FM[i]  
    FM[i+1] <- (1-delta*(1-gamma)*beta)*FM[i] + delta*(1-gamma)*E - delta*(1-gamma)*(alpha+beta)*LBM[i]  
  }  
  W <- LBM+FM  
  return(W)  
}
```

E 一定の仮定に  
無理がある

