

第51回地盤工学研究発表会  
2016年9月15日  
岡山大学

# 水分特性曲線の回帰プログラム

- Fredlund and Xing モデルの実装 -

東洋大学 関 勝寿

# SWRC Fit (Seki, 2007) の紹介

- 水分特性曲線（水分保持曲線）の実測値をモデルに非線形回帰してパラメータを推定するプログラム
- 簡単に精度良い推定ができる
  - 初期パラメータの設定は自動
  - ウェブからワンクリックで計算
- 多くの利用実績がある
  - [論文の被引用件数](#) 86件 (Google Scholar Citations)
  - 様々な土壌に対する汎用性
  - 高い利便性
- プログラムのコードを公開している

# SWRC Fit の構成

## ウェブインターフェイス

- Perl 言語の CGI スクリプト
- ウェブブラウザから実行



## オフライン版

- 数値計算言語 GNU Octave
- ダウンロードして実行
- ウェブ版よりも多様な設定で計算可能

# 水分特性曲線のモデル

- 4つの単峰性モデル (間隙系分布が1つのピーク)
  - BCモデル (Brooks and Corey, 1964)
  - VGモデル (van Genuchten, 1980)
  - LNモデル (Kosugi, 1996)
  - **FXモデル (Fredlund and Xing, 1994) [New]**

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[ \frac{1}{\ln(e + (h/a)^n)} \right]^m$$

- アメリカの地盤工学者からのメールによるリクエスト
- 修正関数  $C(h)$  はオフライン版で実装

- 2つの二峰性モデル (略)

# SWRC Fit

# 検索

## 土壌水分特性曲線の非線形回帰プログラム - SWRC Fit -

### ウェブインターフェイス

← → ↺ ⌂ seki.webmasters.gr.jp/swrc/index-ja.html 🔍 ☆ 🌐 📄

[ [English](#) | [Español](#) | [Français](#) | [Deutsche](#) | 日本語 ]

### SWRC Fit - 土壌水分特性曲線の非線形回帰プログラム -

SWRC Fit は、土壌水分特性（水分保持曲線）のデータを、[いくつかのモデル](#)によって近似し、土壌水分特性パラメータを決定することができます。土壌水分特性のデータをテキストボックスに貼り付けて、「計算する」ボタンを押して下さい。プルダウンメニューからサンプルのデータを選んで、試すことができます。[詳しい説明を読む](#)。

説明 (NS: 不明)

土壌試料

土性

あなたの名前

モデル

- ☒ Brooks and Corey
- ☒ van Genuchten
- ☒ Kosugi
- ☒ Fredlund and Xing **[New!]**
- ☐ Durner
- ☐ Seki

計算オプション

- ☐  $\theta_r = 0$

グラフオプション

- ☒ 最良のモデル1つを表示

土壌水分特性曲線

# ここにデータを貼り付ける

### オフライン版

```
air:~ seki$ swrcfit swrc.txt bc=0 ln=0
=== VG model ===
qs = 0.38671
qr = 0.055302
alpha = 0.021563
n = 15.913
R2 = 0.99247
=== FX model ===
qs = 0.38442
qr = 0.034417
a = 44.142
m = 1.1128
n = 24.028
R2 = 0.99414
air:~ seki$
```

使い方はホームページの  
ユーザーマニュアルを参照

# 入力画面

## モデル

- ☒ Brooks and Corey
- ☒ van Genuchten
- ☒ Kosugi
- ☒ Fredlund and Xing **[New!]**
- ☐ Durner
- ☐ Seki

## 計算オプション

- ☐  $\theta_r = 0$

## グラフオプション

- ☒ 最良のモデル1つを表示

## 赤池情報量規準(AIC)

$$AIC = n \ln(RSS/n) + 2k$$

n: 標本サイズ

RSS: 残差2乗和

k: パラメータの数

## 土壌水分特性曲線

サンプルデータから選ぶ ▼

10	0.354
16	0.329
50	0.077
100	0.054
158	0.046
500	0.037
15850	0.018

① Excel からデータを  
コピーペースト

② 計算ボタンをクリック

計算する

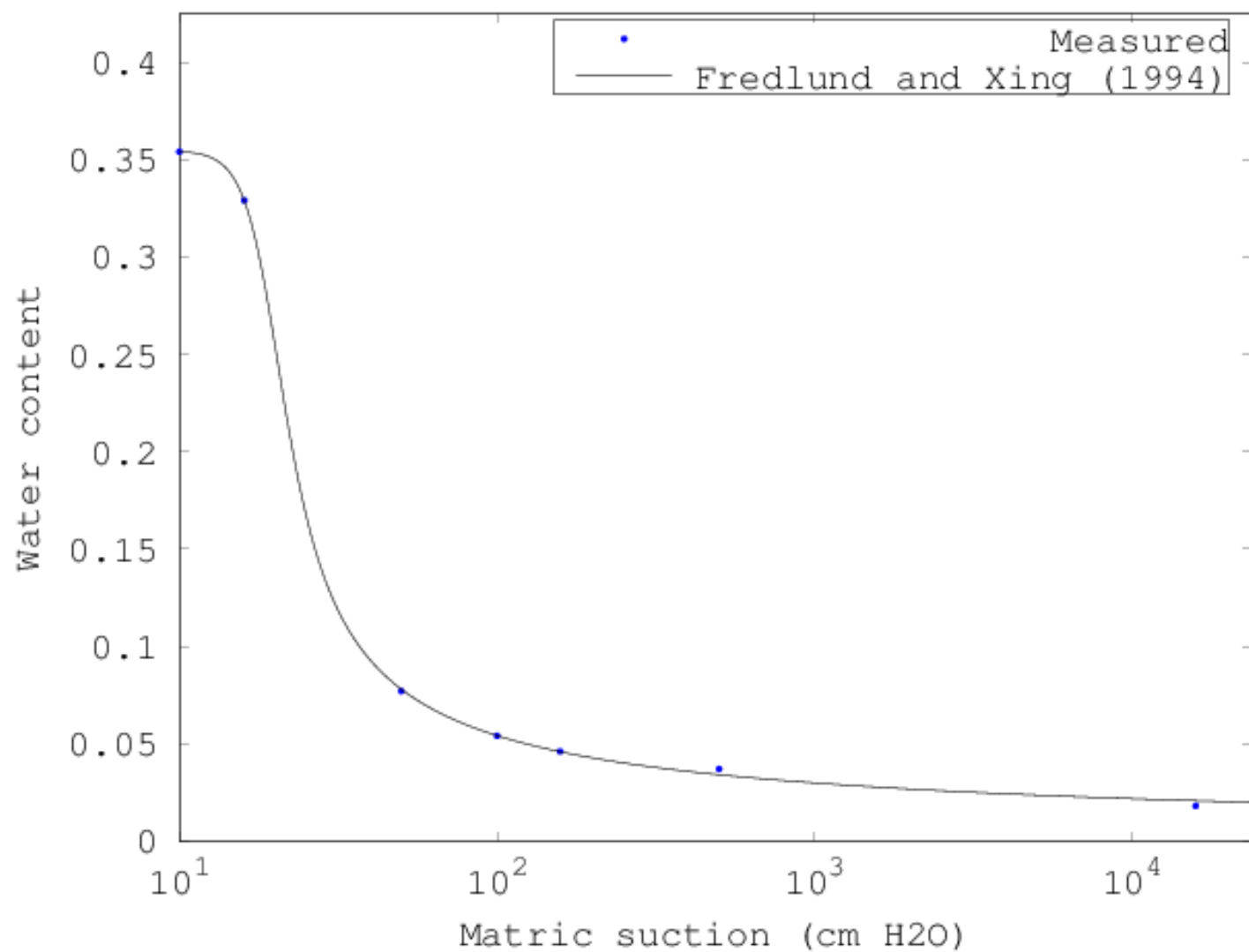
# 結果表示①

## SWRC Fit - Result -

- Soil sample: UNSODA 3332
- Texture: 砂質土
- Name: Jacobsen, 1989

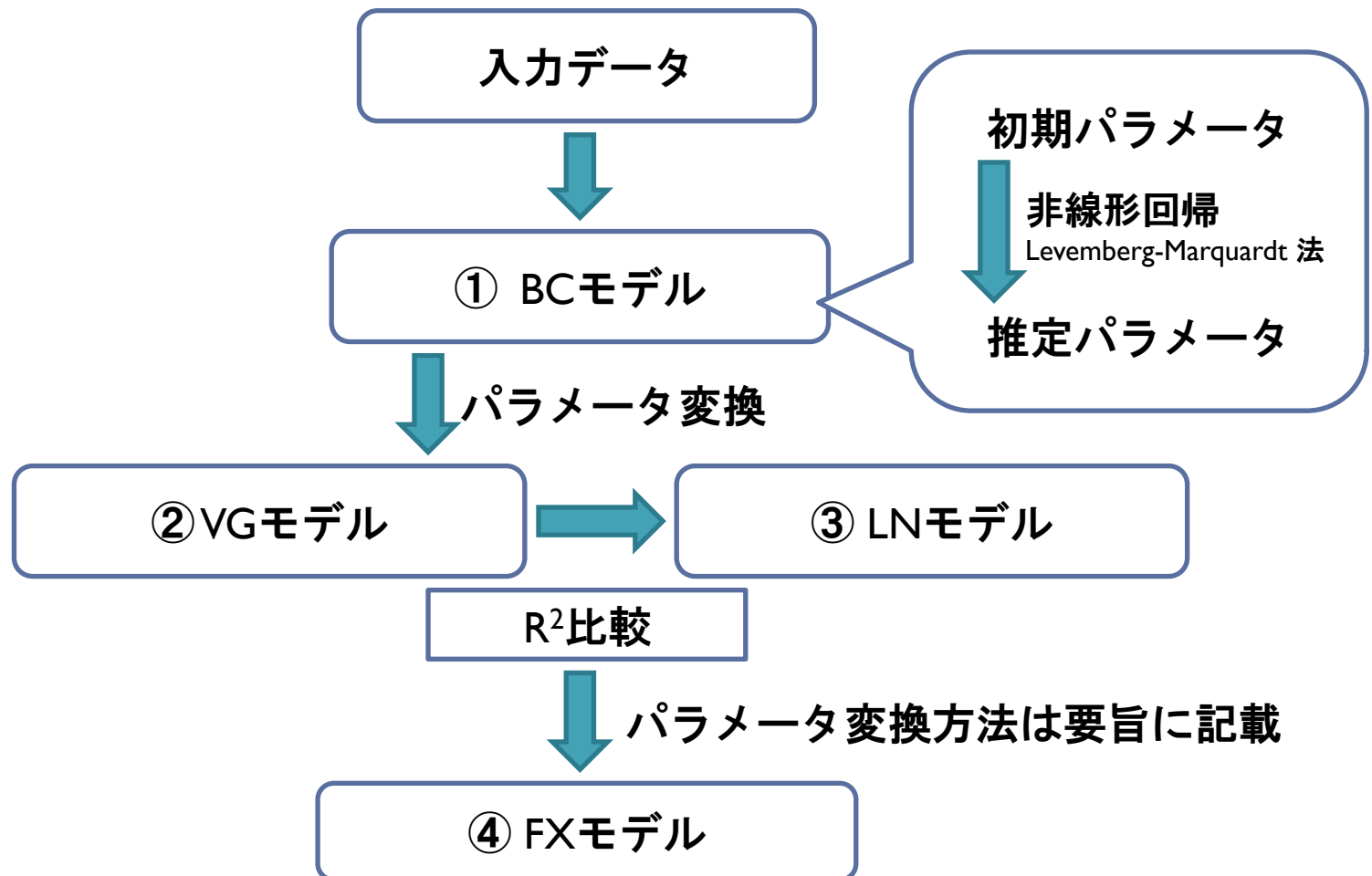
Model	Equation	Parameters	R <sup>2</sup>	AIC
Brooks and Corey	$S_e = \begin{cases} \left(\frac{h}{h_b}\right)^{-\lambda} & (h > h_b) \\ 1 & (h \leq h_b) \end{cases}$	$\theta_s = 0.35414$ $\theta_r = 0.030030$ $h_b = 15.152$ $\lambda = 1.5172$	0.99775	-62.761
van Genuchten	$S_e = \left[ \frac{1}{1 + (ch)^n} \right]^m \quad (m=1-1/n)$	$\theta_s = 0.36220$ $\theta_r = 0.035741$ $\alpha = 0.039292$ $n = 3.8465$	0.99568	-58.197
Kosugi	$S_e = Q \left[ \frac{\ln(h/h_m)}{\sigma} \right]$	$\theta_s = 0.35763$ $\theta_r = 0.038106$ $h_m = 29.504$ $\sigma = 0.46086$	0.99460	-56.640
Fredlund and Xing	$S_e = C(h) \left[ \frac{1}{\ln[e + (h/a)^n]} \right]^m \quad (C(h)=1)$	$\theta_s = 0.35460$ $\theta_r = 1.6314e-07$ $a = 18.188$ $m = 0.69726$ $n = 8.6899$	0.99987	-80.574

## 結果表示②





# 計算アルゴリズム



初期値を設定しやすいモデルからはじめて、順次複雑なモデルへ

# フィッティング力の検証

モデル	$\theta_r$ 変数	$\theta_r = 0$
BC	63.4%	53.3%
VG	80.0%	55.0%
LN	86.6%	49.3%
FX	90.3%	86.1%

表I. UNSODA データベースの700 個の  
土壌水分特性データにおける  
 $R^2 > 0.98$  となるデータの割合  
モデルの優劣比較ではない（自由度が異なる）

# モデルの比較

モデル	$\theta_r$ 変数	$\theta_r = 0$
BC	45	46
VG	53	66
LN	56	102
FX	156	176

表2. UNSODA データベースの700 個の  
土壌水分特性データのフィッティングで  
**赤池情報量規準(AIC)**によって最適なモデルと  
されたデータの数

# FXモデルが特に有効な例

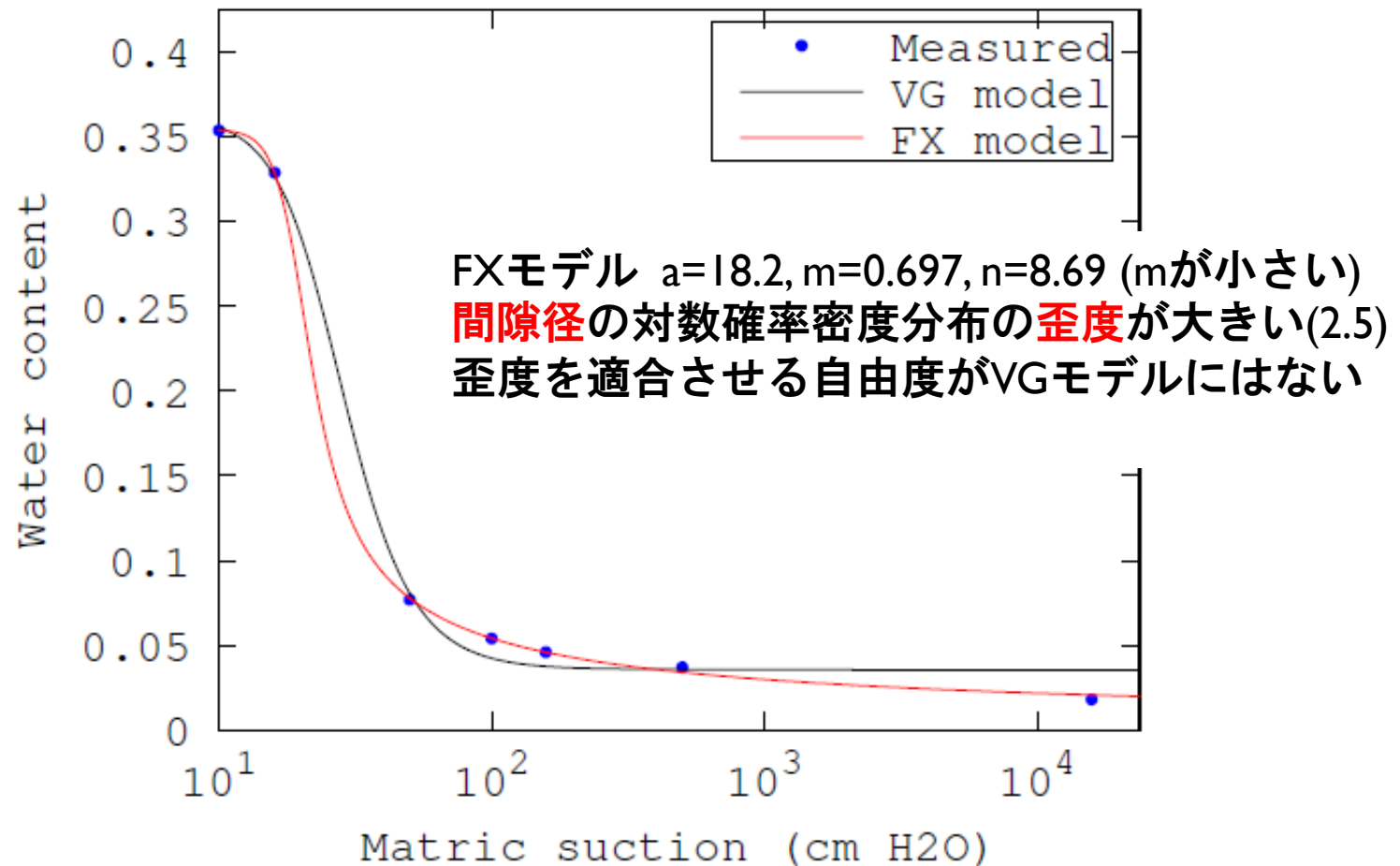


図1. デンマークの砂質土 (UNSODA 3332) (Jacobsen, 1989)

# 結論

- 水分特性曲線の非線形回帰プログラム SWRC Fit (<http://swrcfit.sourceforge.net/>) に、地盤工学の分野でよく使われる Fredlund and Xing (1994) のモデルを実装した。
- UNSODAデータベースの700個のデータに対して、全体の半分近くの土壌試料で他の3モデルと比較してFredlund and Xing (1994) のモデルが最適であるとされた。
- ぜひSWRC Fitを使ってみてください。

# 学会発表後の質疑応答より

**(質問)** 検証に使われた UNSODA データベースは海外の土壤のデータが多い。日本の土壤ではどうなのか？

**(回答)** 日本の火山灰性土壤は、団粒が発達していて間隙径分布が2つのピークを持つことがある。その時には、今回の発表では省略した二峰性モデルを使う。SWRC Fit では、二峰性モデルを使ったフィッティングもできる。

## 二峰性モデルによる フィッティングの例

Silty loam  
Switzerland  
Richard et al. (1983)  
UNSODA 2760

