

鹿児島平野の地層区分に基づく 三次元地盤モデル作成の試み - 鹿児島版地盤情報データベースの活用 -

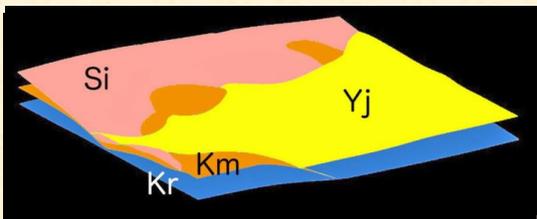
1. はじめに
2. 鹿児島平野の地層区分
3. 三次元地盤モデルの推定方法
4. 三次元地盤モデルによる推定結果
5. 三次元地盤モデルの高度利用(事例)
6. おわりに

中田 文雄 (NPO)地質情報整備活用機構
このお話しは、田中 義人さん、北村 良介さんと
酒匂 一成さんとの共同研究の成果です。

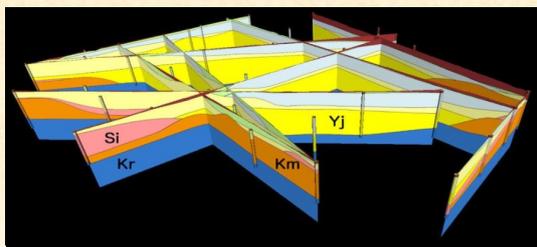
作成した三次元地盤モデルの種類



- ボーリングモデル：
- ・簡略柱状図に三次元座標を付与したモデル
 - ・本講演では「円柱」として表現した



- サーフェスモデル：(地層境界面モデル)
- ・地層などの各境界面のワイヤーフレームモデルに、地層区分などの属性を持つテクスチャを貼り付けたモデル



- パネルダイアグラム：
- ・サーフェスモデルに対し、任意に設定した断面線で切り出した断面図(パネル)群

【背景】

九州地盤情報システム協議会(地盤工学会九州支部)での地盤情報データベース構築。第1版(2005年)と第2版(2012年)鹿児島県内では、11,500本以上のボーリングデータなどを収集・整理してきた。

地圏シミュレータを初めとする、地盤解析に必要な地盤情報を迅速に検索するための鹿児島版地盤情報データベースシステムを開発し、利用者限定で利用している。

【本講演の骨子】

田中ら¹⁾は「鹿児島平野の地層区分」の新ルールを提案。

に基づき、田中らは鹿児島平野中心部(一部)で、H-H'断面など9本の二次元地質断面図を推定した。

中田ら²⁾は、これらの二次元地質断面図を三次元的に拡張した。

田中ら¹⁾ 中田ら²⁾ : p4参照。 以下同様

2.鹿児島平野の地層区分(田中らの成果)

鹿児島平野の地質層序

時代		記号	地層名	説明	
第四紀	完新世	表土類	b	表土層	表土, 盛土, 埋土
		沖積層	Kt-U	甲突層上部層	沖積上部砂層 (河川成)
			Kt-L	甲突層下部層	沖積中部層 (海成)
	更新世	更新統	Ar	荒田層	沖積中部層 (河成 ~ 浅海成) 下層に黒色ローム
			Yj	与次郎層	沖積下部砂層 (扇状地 ~ 河川成)
			Si	しらす	入戸火砕流堆積物 (約29,000年前)
			Km	郡元層	礫・砂・シルト互層
	Kr	花倉層相当層	12.5万年前以前の海成層主体		

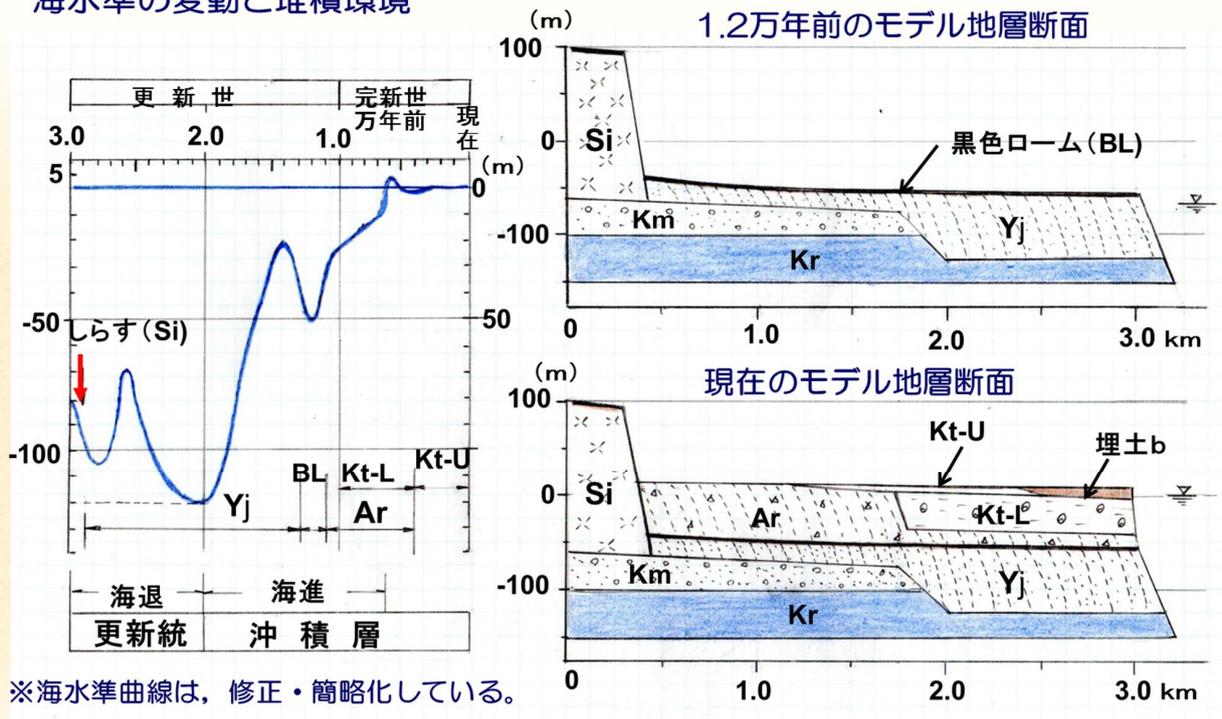
出典：1) 田中義人・中田文雄・北村良介・酒匂一成：鹿児島平野の地層区分とその工学的特性，自然災害研究協議会西部地区部会報，第42号，pp.17-20.，2018年2月

2) 中田文雄・田中義人・北村良介・酒匂一成：鹿児島平野の地層区分と三次元モデルの作成 - 鹿児島版地盤情報データベースの活用例 - ，自然災害研究協議会西部地区部会報，第42号，pp.21-24.，2018年2月

2. 鹿児島平野の地層区分(田中らの成果)

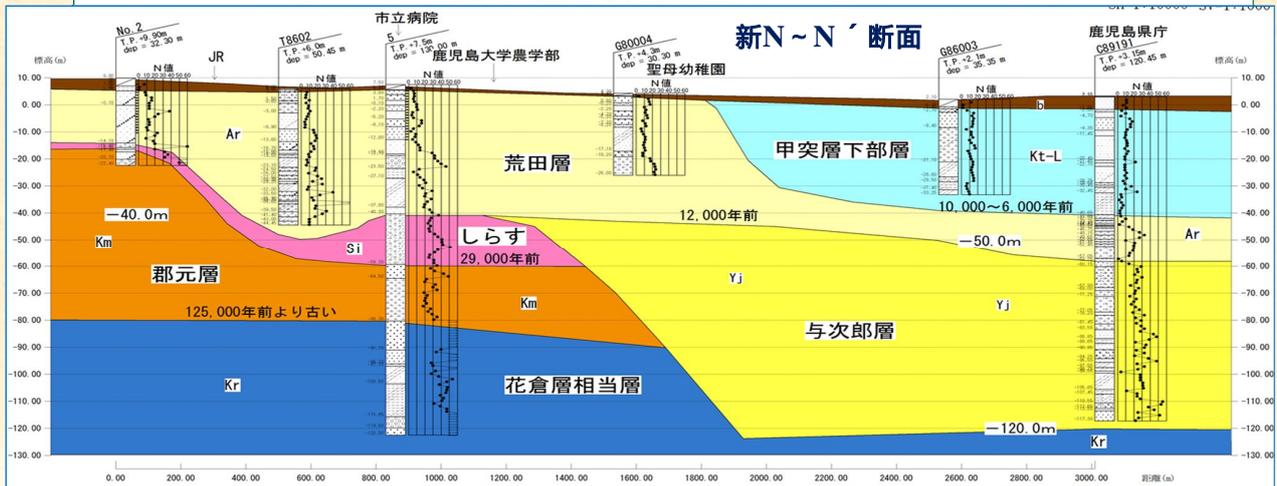
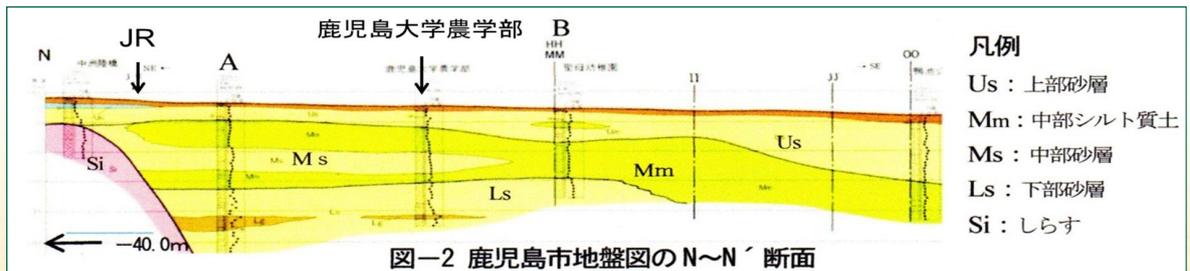
5

海水準の変動と堆積環境

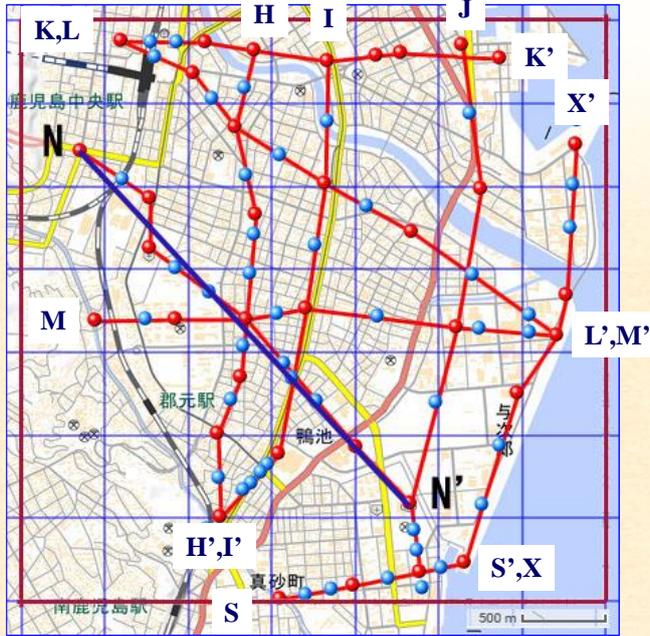


2. 鹿児島平野の地層区分(田中らの成果)

6



3. 三次元モデルの作成方法



● : ボーリング(地質断面図作成用)
 ○ : 参照点(地質断面図からの引用)

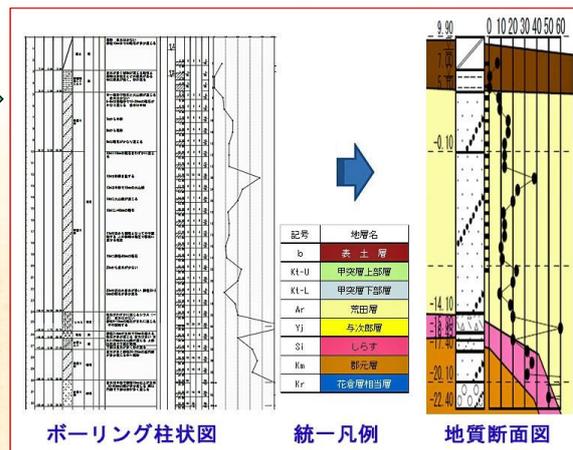
処理数量

項目	数量 / 備考
対象範囲	3.5km x 3.5km
地質断面図	9断面(H-H', N-N'など)
ボーリング	36本
参照点	51箇所

三次元地盤モデルと数量

モデル名称	数量
ボーリングモデル	36本
サーフェスモデル	8層(b1 ~ b8)
パネルダイアグラム	42面

3. 三次元モデルの作成方法

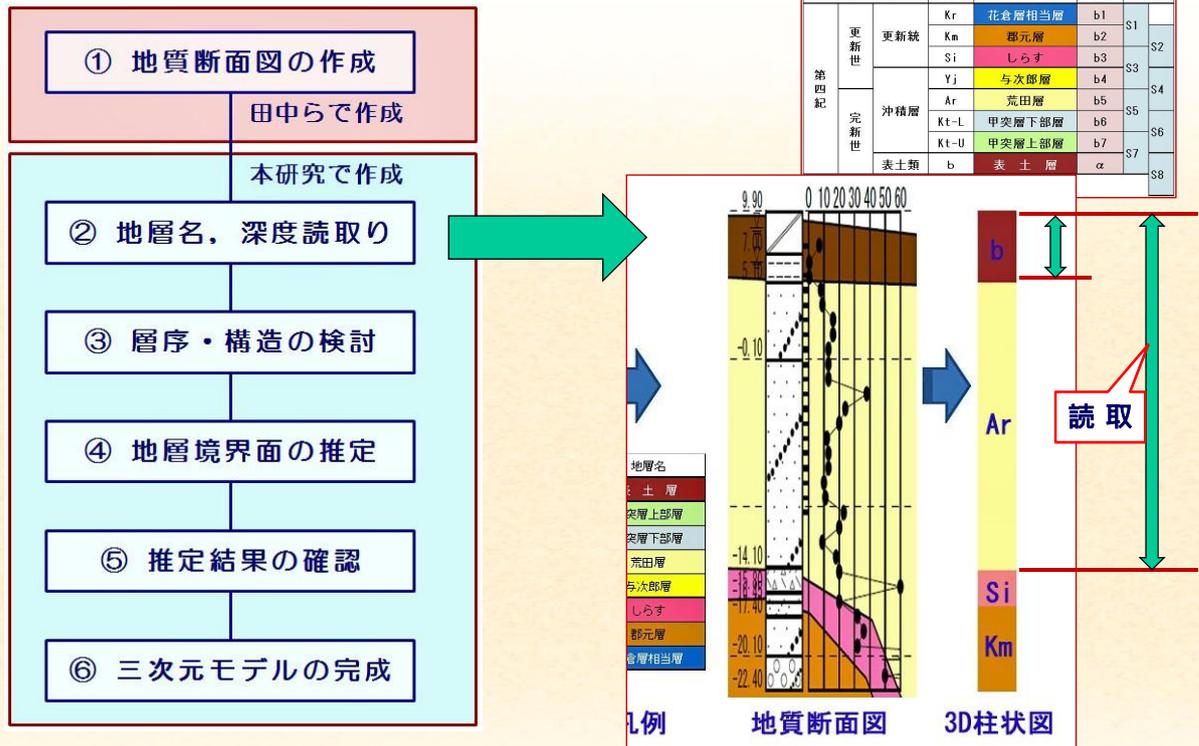


時代	記号	地層名	層番号	境界	
第四紀	更新世	Kr	花倉層相当層	b1	S1
		Km	郡元層	b2	S2
		Si	しらす	b3	S3
		Yj	与次郎層	b4	S4
	完新世	Ar	荒田層	b5	S5
		Kt-L	甲突層下部層	b6	S6
		Kt-U	甲突層上部層	b7	S7
		表土類	b	表土層	α

出典：田中ら2018

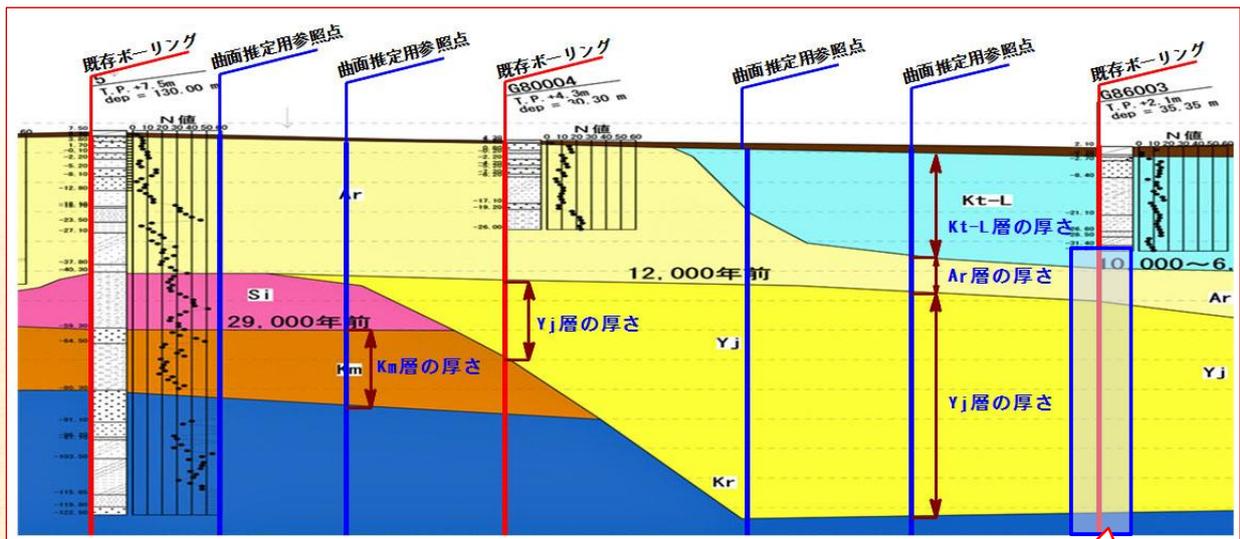
3. 三次元モデルの作成方法

9



地層名・深度の読み取り

10



田中らの成果：

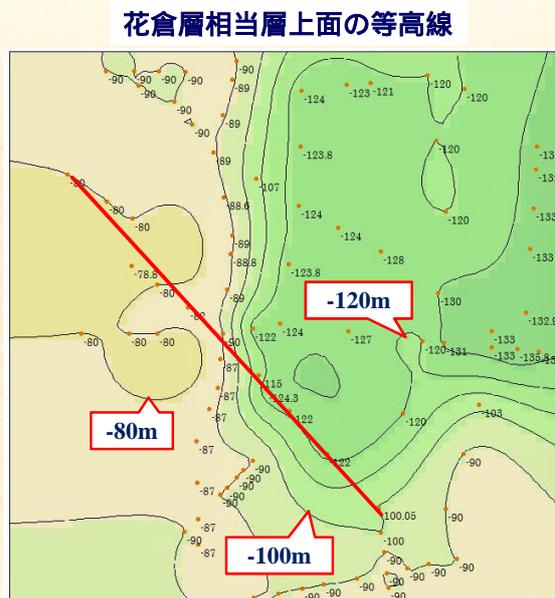
- ・ ボーリング柱状図から地質断面図を作成した。
- ・ 掘削深度より下位の地層についても，出現深度を予想した。

中田らの作業：

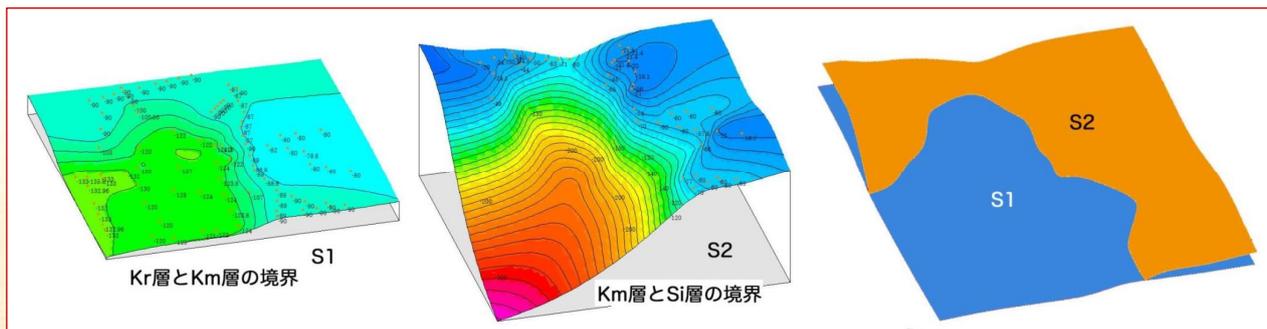
- ・ 参照点で，地質断面図から各地層の構成と出現深度を読み取った。

孔底の下を推定

ボーリング地点と参照点，計87箇所での各地層上面の標高を得た。Terramod_BS(坂本・野々垣・升本他2012)を利用して，各地層境界面の三次元形状を推定した。



地層の論理処理

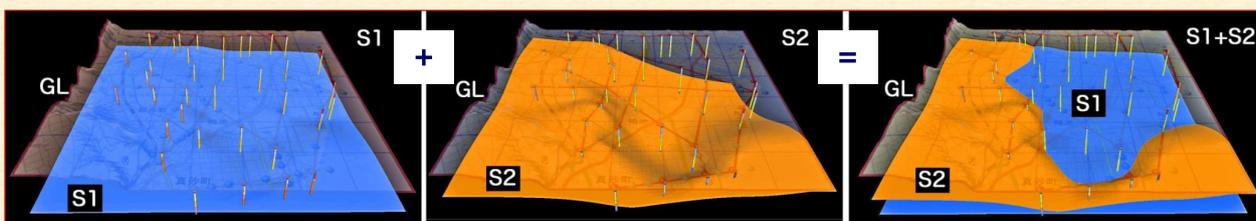
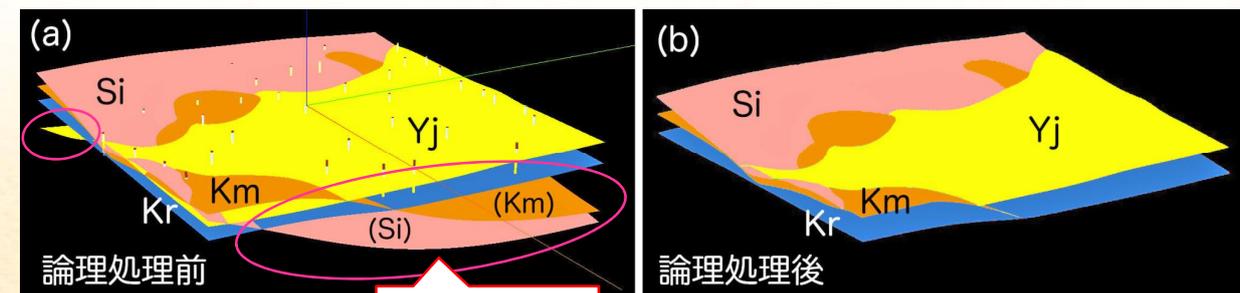


地層境界面の三次元形状の推定結果をそのまま適用すると，Km層とSi層の境界面(S2)は，Kr層とKm層の境界面(S1)の下に潜ってしまう。

地層の論理上あり得ない。S1より下位となるS2部分を削除する。他の境界面間でも同様のことが発生したら，下位の部分を削除する。

記号	地層名	層番号	境界
Kr	花倉層相当層	b1	S1
Km	郡元層	b2	
Si	しらす	b3	S2
Yj	与次郎層	b4	
Ar	荒田層	b5	S3
Kt-L	甲突層下部層	b6	
Kt-U	甲突層上部層	b7	S4
b	表土層	α	
			S5
			S6
			S7
			S8

層序理論上「あり得ない部分」を削除(論理処理)した。

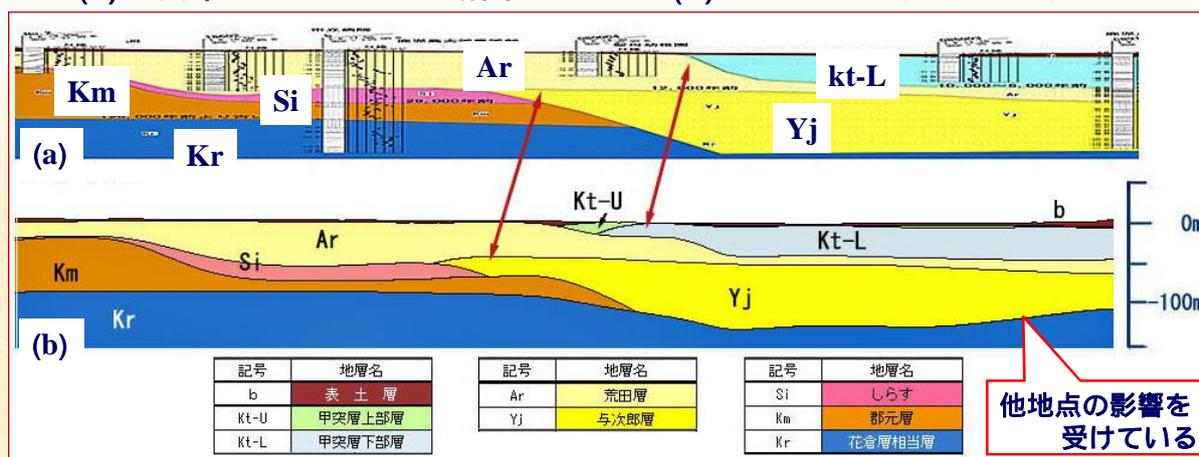


メッシュデータでは、部分削除(欠落)に対処できないので、論理処理後はTIN(Triangulated Irregular Network：不規則三角形網)データとする。

4. 三次元モデルによる(地質断面図の)推定結果

(a) : 田中らによるN-N'断面

(b) : N-N'パネルダイアグラム

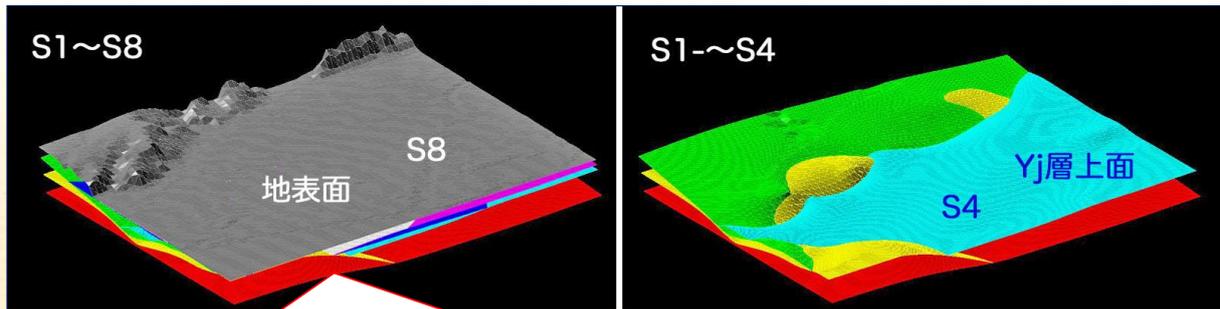


(a)と(b)は、概ね調和的である。

しかし、矢印などの部分では、地質技術者の作成した地層形状を、三次元モデルは忠実に再現できていない。

参照点を増やす必要があった(反省点)。

サーフェスモデルによる表現



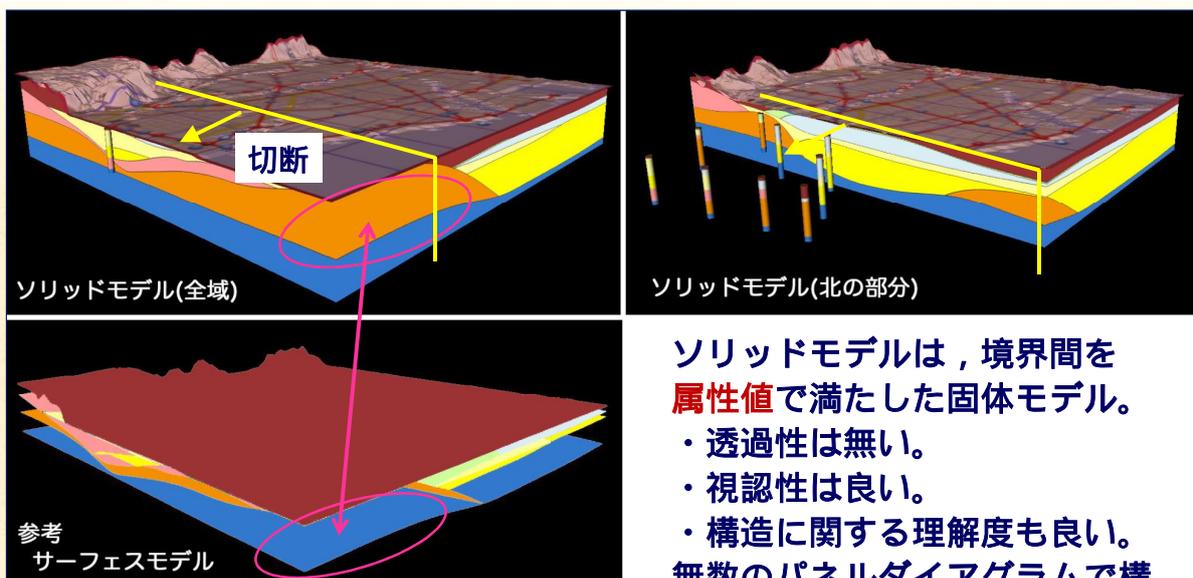
- ・境界面を積み重ねているので、見えている部分は「平面」である。
- ・横から見た場合「断面」の方が理解しやすい。

サーフェスモデルの欠点

- ・地層境界面の透過度を下げると、下の地層が見えなくなる。
上の地層境界面を透明(半透明)にする必要がある。
- ・地層そのものを表示できないので、地層構造を理解しづらい。
他の表現方法を探らざるを得ない。

境界間を属性値で満たしたソリッドモデル(見本)

境界間の属性値を地層区分名とした例



ソリッドモデルは、境界間を属性値で満たした固体モデル。

- ・透過性は無い。
- ・視認性は良い。
- ・構造に関する理解度も良い。

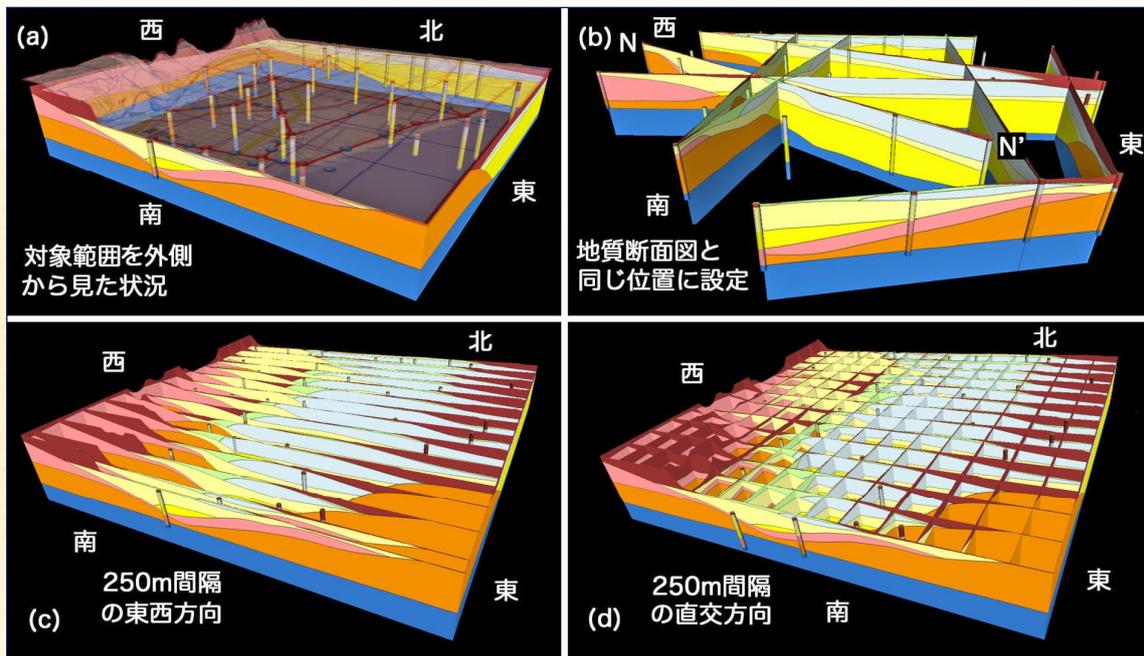
無数のパネルダイアグラムで構成されている、と言っても良い。

注 上図は、4面のパネルを組み合わせただけの「疑似ソリッドモデル」である。

4. 三次元地盤モデルの推定結果

17

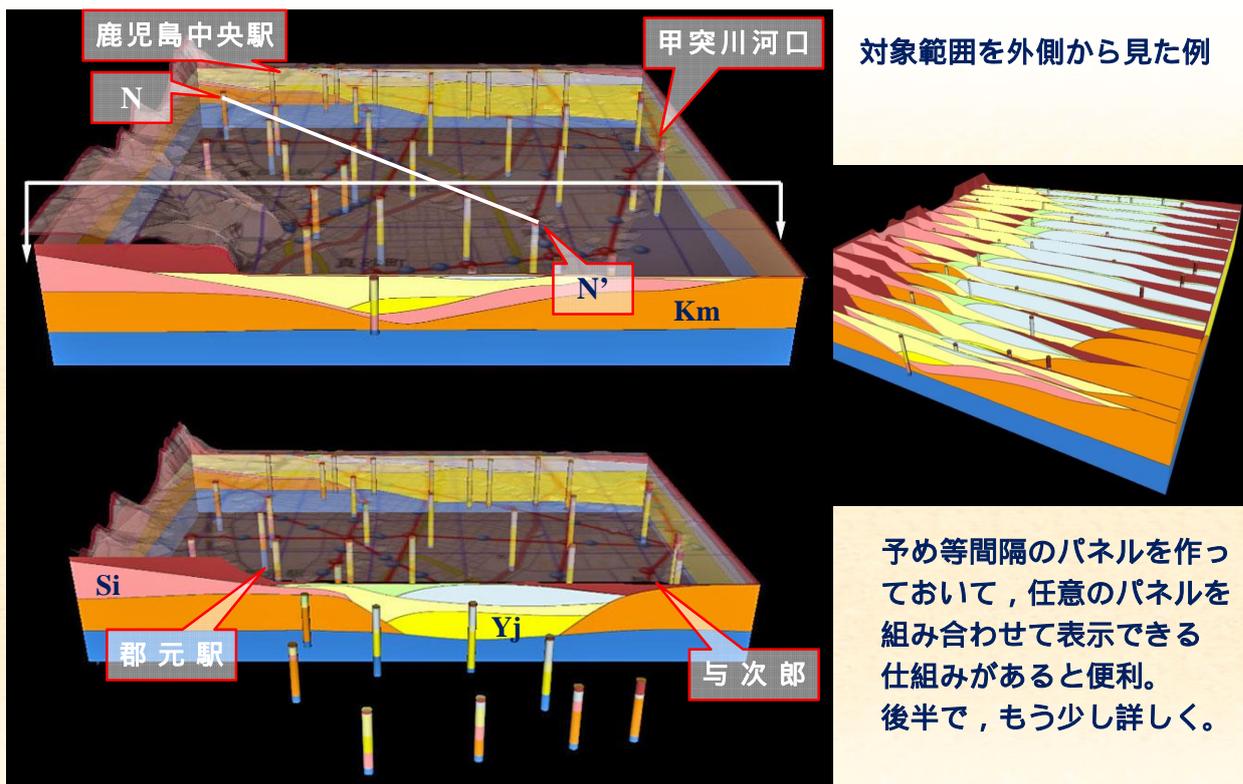
境界間を属性値で満たしたパネルダイアグラム(見本)
境界間の属性値を地層区分名とした例



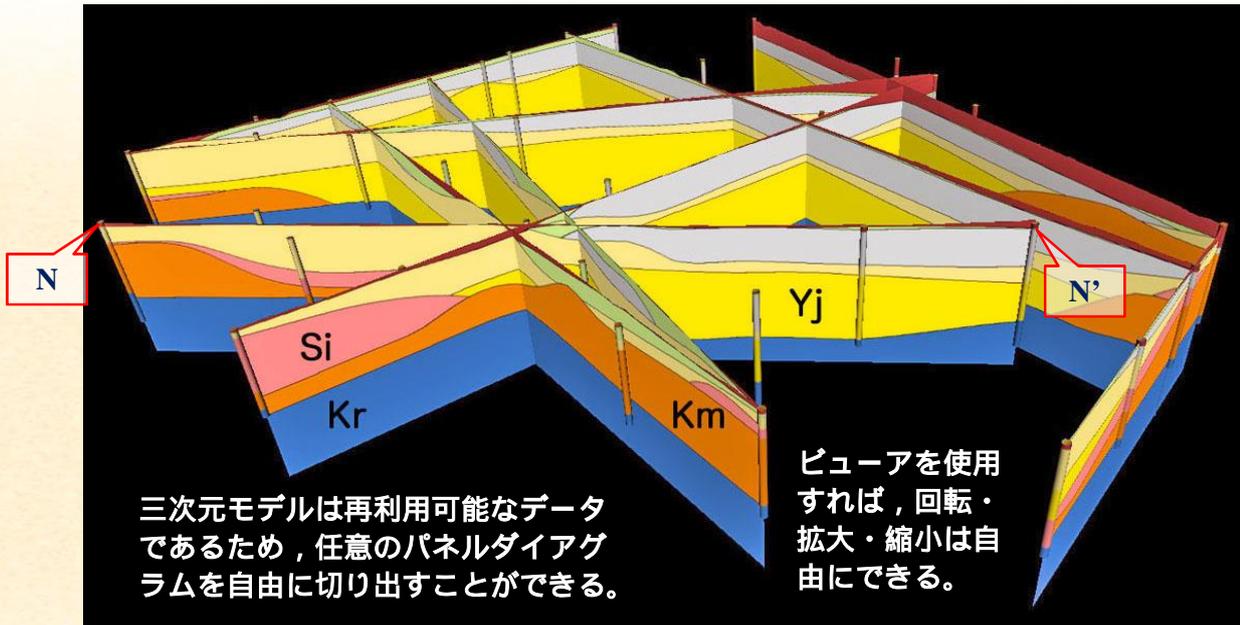
パネルを密着させると視認性が悪くなるので、塩梅が難しい。

パネルダイアグラム例 -1

18



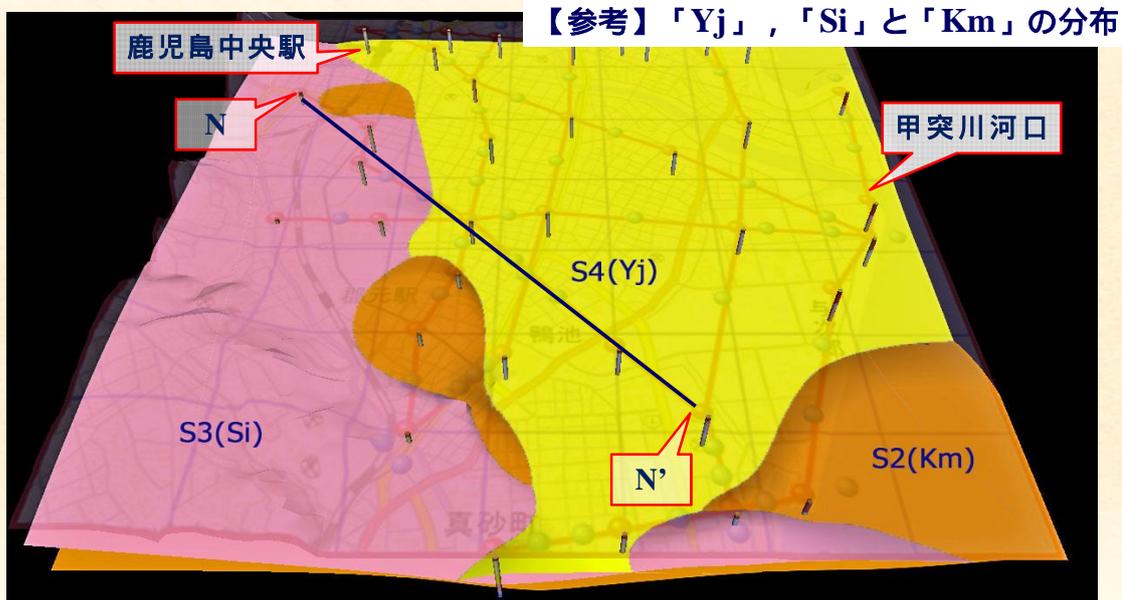
地質断面図とほぼ同じ位置のパネルダイアグラム



5. 三次元地盤モデルの高度利用(事例-1)

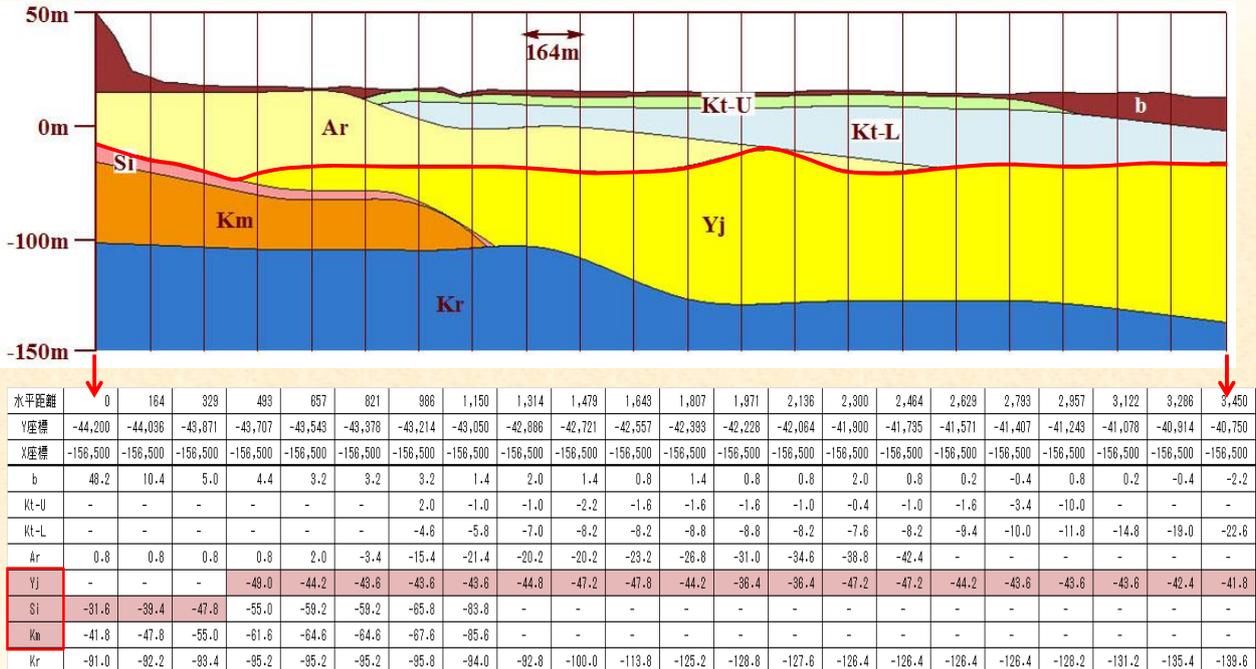
前提：三次元地盤モデル(形状値)は、再利用可能な「データ」である。
 事例：支持層分布の把握への応用 パネルダイアグラムのデータを再利用。

手順-1 仮に支持層を「Yj」、「Si」と「Km」とする。
 手順-2 上記3層の上面標高を求める。



手順-1 仮に支持層を「Yj」, 「Si」と「Km」とする。

手順-2 パネルダイアグラムデータから, 上記3層の上面標高を求める。



5. 三次元地盤モデルの高度利用(事例-2)

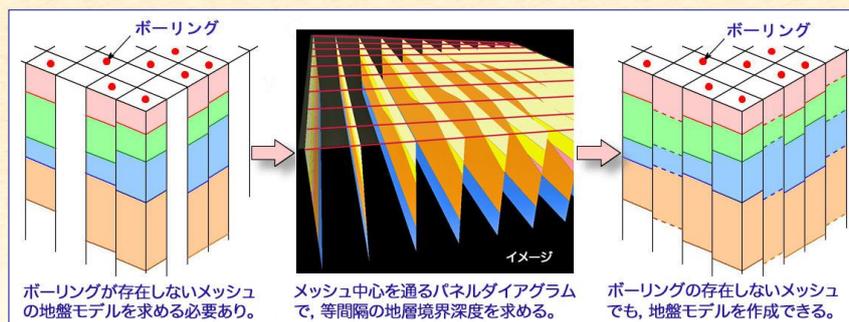
前提：三次元地盤モデル(形状値)は, 再利用可能な「データ」である。

事例：地盤の動的解析への応用 パネルダイアグラムのデータを再利用。

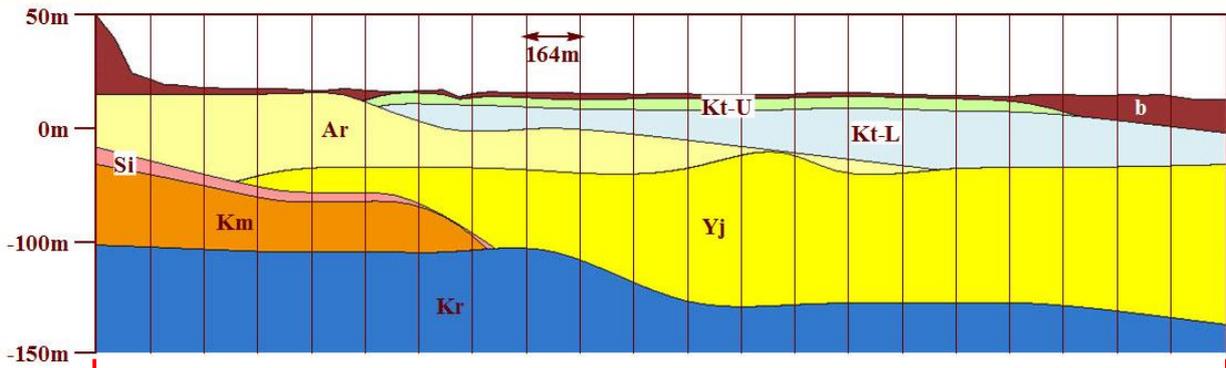
手順-1 地層の工学的な動的特性を属性値として作成する。

速度層	記号	地層名	平均N値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	減衰定数 h	湿潤密度 (Kg/cm ³)	非線形特性	平均粒径 D50 (mm)	細粒分 FC (%)
V1	b	埋土	5	100	500	0.03	1.7	砂質土	0.35	10
V2	Kt-U	甲突層上部層	15	250	1,250	0.02	1.7	礫質土	2.00	0
V3	Kt-L	甲突層下部層	10	200	1,000	0.04	1.6	粘性土	0.03	70
V4	Ar	荒田層	15	250	1,250	0.03	1.7	砂質土	0.35	10
V5	Yj	与次郎層	35	330	1,650	0.03	1.8	砂質土	0.35	10
V6	Si	しらす	35	400	2,000	0.03	1.7	砂質土	0.35	10
V7	Km	郡元層	30	350	1,750	0.03	1.9	砂質土	0.35	10
V8	Kr	花倉層相当層	50以上	550	2,750	0.03	2.0	岩盤	-	-

手順-2 三次元地盤モデルから等間隔のパネルダイアグラムを作成する。



手順-3 パネルダイアグラムから、等間隔の地層区分名と深度(標高)を得る。



水平距離	0	164	328	493	657	821	986	1,150	1,314	1,478	1,643	1,807	1,971	2,136	2,300	2,464	2,629	2,793	2,957	3,122	3,286	3,450
Y座標	-44,200	-44,036	-43,871	-43,707	-43,543	-43,378	-43,214	-43,050	-42,886	-42,721	-42,557	-42,393	-42,228	-42,064	-41,900	-41,735	-41,571	-41,407	-41,243	-41,078	-40,914	-40,750
X座標	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500	-156,500
b	46.2	10.4	5.0	4.4	3.2	3.2	3.2	1.4	2.0	1.4	0.8	1.4	0.8	0.8	2.0	0.8	0.2	-0.4	0.8	0.2	-0.4	-2.2
Kt-U	-	-	-	-	-	-	2.0	-1.0	-1.0	-2.2	-1.6	-1.6	-1.6	-1.0	-0.4	-1.0	-1.6	-3.4	-10.0	-	-	-
Kt-L	-	-	-	-	-	-	-4.6	-5.8	-7.0	-8.2	-8.2	-8.8	-8.8	-8.2	-7.6	-8.2	-9.4	-10.0	-11.8	-14.8	-19.0	-22.6
Ar	0.8	0.8	0.8	0.8	2.0	-3.4	-15.4	-21.4	-20.2	-20.2	-23.2	-26.8	-31.0	-34.6	-38.8	-42.4	-	-	-	-	-	-
Yj	-	-	-	-49.0	-44.2	-43.6	-43.6	-43.6	-44.8	-47.2	-47.8	-44.2	-36.4	-36.4	-47.2	-47.2	-44.2	-43.6	-43.6	-43.6	-42.4	-41.8
Si	-31.6	-38.4	-47.8	-55.0	-53.2	-53.2	-65.8	-83.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Km	-41.8	-47.8	-55.0	-61.6	-64.8	-64.8	-67.6	-85.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kr	-91.0	-92.2	-93.4	-95.2	-95.2	-95.2	-95.8	-94.0	-92.8	-100.0	-113.8	-125.2	-128.8	-127.6	-126.4	-126.4	-126.4	-126.4	-128.2	-131.2	-135.4	-138.6

手順-4 「地層区分名と深度(標高)の各値」と「属性テーブル」を連携させる。
その地点の「動的地盤モデルデータ」が得られる。

速度層	記号	地層名	平均N値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	減衰常数 h	湿潤密度 (Kg/cm ³)	非線形特性	平均粒径 D50(mm)	細粒分 FC(%)
V1	b	埋土	5	100	500	0.03	1.7	砂質土	0.35	10
V2	Kt-U	甲突層上部層	15	250	1,250	0.02	1.7	礫質土	2.00	0
V3	Kt-L	甲突層下部層	10	200	1,000	0.04	1.6	粘性土	0.03	70
V4	Ar	荒田層	15	250	1,250	0.03	1.7	砂質土	0.35	10
V5	Yj	与次郎層	35	330	1,850	0.03	1.8	砂質土	0.35	10
V6	Si	しらす	35	400	2,000	0.03	1.7	砂質土	0.35	10
V7	Km	郡元層	30	350	1,750	0.03	1.9	砂質土	0.35	10
V8	Kr	花倉層相当層	50以上	550	2,750	0.03	2.0	岩盤	-	-

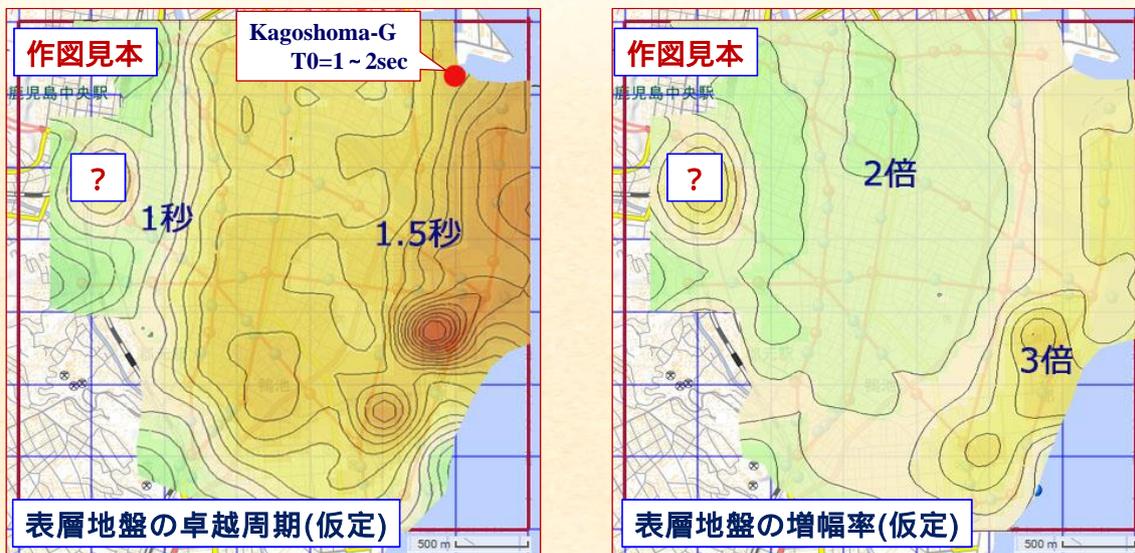
「共通ID」は地質記号である。

Y座標	-43,050
X座標	-156,500
b	1.4
Kt-U	-1.0
Kt-L	-5.8
Ar	-21.4
Yj	-43.6
Si	-83.8
Km	-85.6
Kr	-94.0

六次メッシュ	2	座標系	
経度	-43050	Y座標	
緯度	-156500	X座標	
標高	1.4		

速度層	標高 (m)	層厚 (m)	地質名	Vs (m/s)	Vp (m/s)	減衰常数 h	湿潤密度 (Kg/cm ³)	非線形特性
V1	1.4	2.4	b 表土層	100	500	0.03	1.65	砂質土
V2	-1.0	4.8	Kt-U 甲突層上部層	250	1,250	0.02	1.65	礫質土
V3	-5.8	15.6	Kt-L 甲突層下部層	200	1,000	0.04	1.60	粘性土
V4	-21.4	22.2	Ar 荒田層	250	1,250	0.03	1.60	砂質土
V5	-43.6	40.2	Yj 与次郎層	330	1,850	0.03	1.65	砂質土
V6	-83.8	1.8	Si しらす	400	2,000	0.03	1.50	砂質土
V7	-85.6	8.4	Km 郡元層	350	1,750	0.03	1.70	砂質土
V8	-94.0	-	Kr 花倉層相当層	550	2,750	0.03	1.90	岩盤

パネルダイアグラムデータに基づいた 167m間隔 の動的地盤モデルデータ を使用した **S波の重複反射理論** を適用。
 表層地盤の (推定)卓越周期分布図 や (推定)同増幅率分布図 などが得られる。



これらの分布図は、仮定した地盤定数を使用して求めた「見本図」である。

6. おわりに

通常、三次元地盤モデルは、ボーリング柱状図から推定される。
 ？！柱状図には記載内容に統一性がなく、隣接する柱状図で地層区分(層序)に関連性のないケースも多い。

本講演では、田中らの成果(地質断面図)を利用して、モデルの推定に必要な地点の地層情報を読み取って実施した。

三次元モデルは地質断面図と概ね調和的であった。

鹿児島市中心部の地盤状況を、ある程度「見える化」できた。

今後は、より広い範囲に挑戦して行きたい。

CIMに対応するための地盤情報共有基盤開発 <https://geonews.zenchiren.or.jp/cim3d/index.html>

ホームページ | 電子納品等の支援 | **三次元地盤モデル作成支援** | 三次元地盤モデルのデモ | このサイトについて | 研究報告書・プレゼン用資料

ウェブサイトの特徴

★このウェブサイトは、右図のような三次元地盤モデル(サーフェスモデル)を推定する 全ての機能を備えています。その特徴は、

モデル作成に利用したウェブサイト

- ・誰でも自由に利用できる。
- ・単純な地質構造しか対応できない(入門用)。
- ・地層区分の堆積論理データを自作すれば、複雑な構造に対処できる(本講演)。