

**令和2年度 第1回
札幌市 地震被害想定検討委員会**

**資料 2-2:地震動予測の検証
(補足資料)**

令和2年10月8日

札幌市危機管理対策室

1.1 震源モデル～①前回の振り返り

着目点		現行想定	新たな知見・課題		対応方針
断層の傾斜		・全ての伏在活断層で、背斜軸が東傾斜の逆断層で角度不明なため、「レシピ」に従い“45°”と設定	・「日本海PJ」のH29地震探査における、野幌丘陵断層帯の傾斜が“約30°”と推定できる調査結果 <small>(HP公開している研究途中の運営委員会資料による)</small>		・野幌丘陵断層帯における強震動計算のための断層パラメーターにおいて、角度を“30°”として再設定する
地震発生層	上限面	・地下構造調査結果を反映した地震基盤面の“深さ”と“起伏”から位置を設定	・観測網の整備により 「震源データの充実」	・震源データの充実に伴い、レシピに記載のある「震源データの統計的手法による地震発生層上下限の設定」を実施し、結果を確認	・地震基盤面を基本としたうえで、震源データによるD5・D10※)との関係性を、地域全体および断層毎で確認する ・震源データは、高分解能震源カタログを用いるが、断層毎計上でデータが不足する場合は地震月報を用いる
	下限面	・既往震源分布が、岩盤における脆性破壊領域と等温面の推定深より浅い分布であるため、700°C等温面を下限面と設定	「震源決定精度の向上」		・震源データからD90・D95※)の算出を、地域全体および断層毎で行う ・震源データは、高分解能震源カタログを用いるが、断層毎計上でデータが不足する場合は地震月報を用いる ・結果の解釈にあたっては、三次元的な震源分布や、頻度分布図でのデータの広がりを考慮する

【震源モデルの課題に対する実施事項】

- ・震源の統計処理
- ・強震動計算のための震源断層モデルと、震源データの位置関係の把握(三次元可視化)
- 震源モデルの形や規模を示すパラメーターの見直し案の作成

※D5・D10・D90・D95:震源データの、浅い方から数えて各数値のパーセンテージ(5%・10%・90%・95%)の震源が収まる深度のことを示す。

1.1 震源モデル～②地震発生層の再検討手法

【地震発生層の再検討】

■目的

- ・現行想定当時より震源観測データが増加、蓄積されている
⇒震源データから地震発生層の検証を実施

■上限面設定の確認

- ・現行想定では、札幌市の石狩低地北部地下構造調査結果《資料2-3:1.参照》による地震基盤面 (V_s ※¹ 3km/s以上の層の上限面)を基本とし、起伏があるため深くなっている部分を考慮して地震発生層上限面を設定
- ・地震基盤面と、震源データの5%・10%の震源が収まる深度(D5・D10)との整合について確認

■下限面の設定

- ・震源データの90%および95%の震源が収まる深度(D90、D95)を算定し、地震発生層の下限面を設定

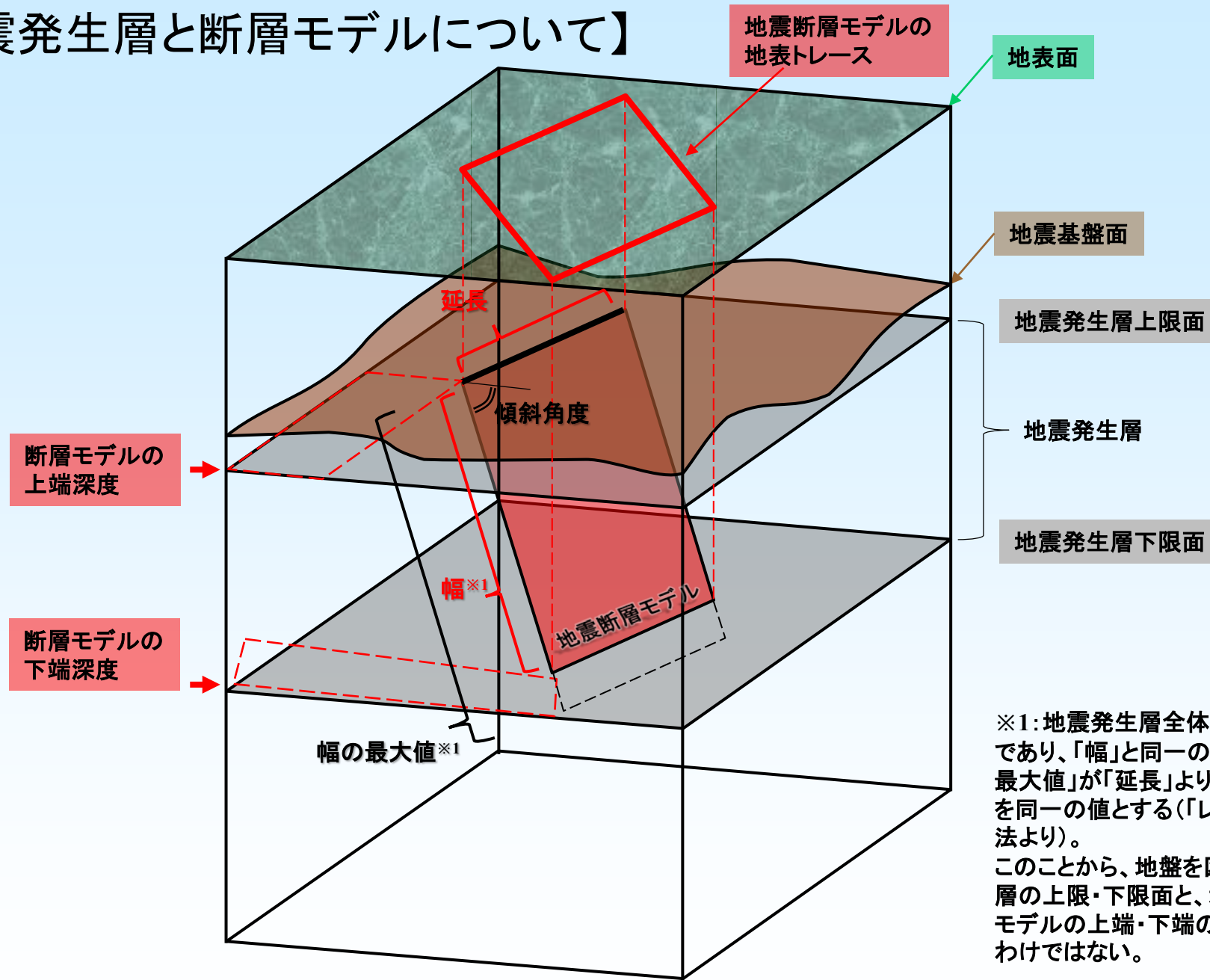
■集計範囲の考え

- ・札幌市の低地全体の傾向の他、各断層モデル周辺に絞った算出を考慮

※1: S波伝播速度) 地中の地震波が伝わる速度を示しており、P波はPrimaryの略で最初に到達する縦波(震源から直線的に進む押し引きの波)を示し、S波はSecondaryの略で次段階に到達する横波で大きな揺れをもたらす。地盤中のS波伝播速度は地中深く硬い位置で3~3.5kmと一定の値を示し、この速度伝播特性の変化する境界面を地震基盤面と呼ぶ。Vs=3km以上の層のVpは、概ねVp=5.5km程度以上に相当し、地震発生層上限をVpが5.8km/s程度以上とする研究報告も認められる。

1.1 震源モデル～②地震発生層の再検討手法

【地震発生層と断層モデルについて】



※1:地震発生層全体に渡る範囲が「幅の最大値」であり、「幅」と同一の場合が多いが、この「幅の最大値」が「延長」より長い場合は、「延長」と「幅」を同一の値とする(「レシピ」の震源モデル設定手法より)。

このことから、地盤を区分する面である地震発生層の上限・下限面と、地震動予測を行う地震断層モデルの上端・下端の深さは、必ずしも一致するわけではない。

・地震発生層の上限、下限面から、地震断層モデルの上端、下端の深さを設定

1.1 震源モデル～②地震発生層の再検討手法

【使用データ】

・防災科学技術研究所において一般公開している、高分解能震源カタログの震源データを使用 ～ 近年、震源データ処理手法の高度化がなされている。観測された地震波形データの波形相関を用いた Double-Difference法により再決定した震源カタログを用いる。

防災科学研究所「日本全国高分解能再決定震源カタログ」

Japan Unified hI-resolution relocated Catalog for Earthquakes (JUICE)

(<http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/JUICE/?LANG=ja>)

(Yano TE, Takeda T, Matsubara M, Shiomi K (2017) Japan Unified high-resolution relocated catalog for earthquakes (JUICE): Crustal seismicity beneath the Japanese Islands. Tectonophysics 702:19-28. doi:10.1016/j.tecto.2017.02.017)

【期間】 : カタログに収録されている、全期間(2001.1～2012.12)

【平面】 : 想定伏在活断層を含む札幌市周辺の石狩低地を中心とした矩形
緯度 $42^{\circ} 53' \sim 43^{\circ} 20'$ ($42.88333^{\circ} \sim 43.33333^{\circ}$)
経度 $141^{\circ} 11' \sim 141^{\circ} 52.5'$ ($141.18333^{\circ} \sim 141.87500^{\circ}$)

【深度】 : カタログに収録される浅部震源を対象とした、深度0～40km

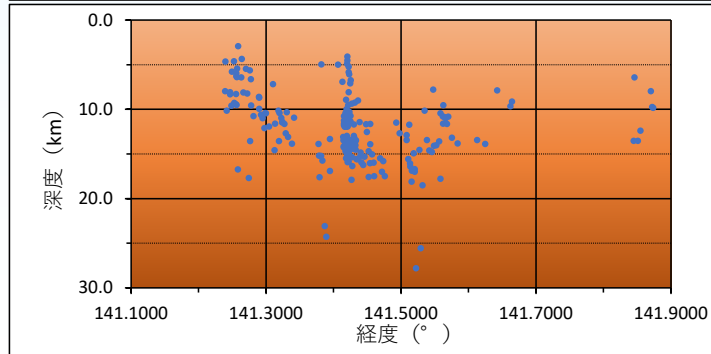
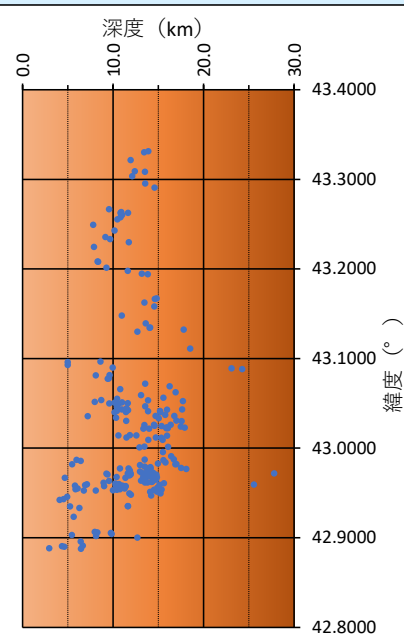
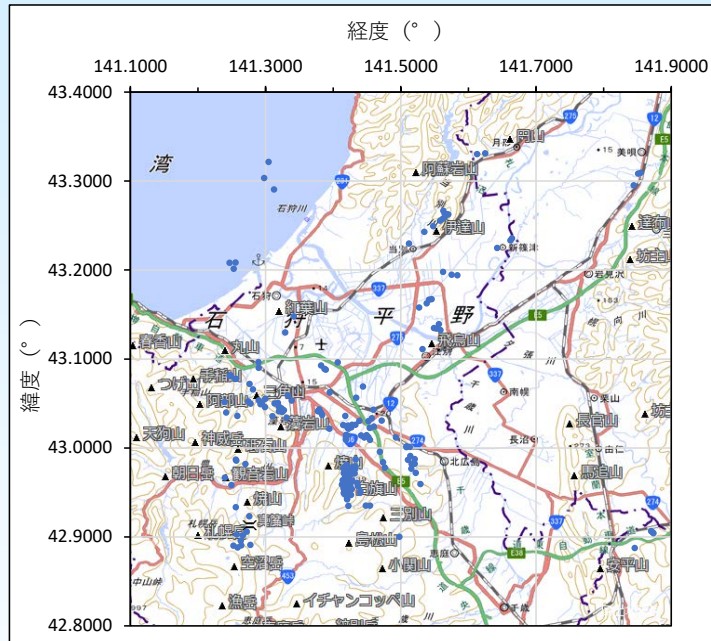
【抽出データ点数】 : 222点

【備考】 : 断層毎に震源データを分けての検討の際、データ点数が少ない場合においては、データ点数の豊富な気象庁の一元化された「地震月報(カタログ編)」でも同様の算出を行う。

(高分解能震源カタログと地震月報の違いは《資料2-3:3.末尾(P.11)参照》)

1.1 震源モデル～③震源データの地理的分布

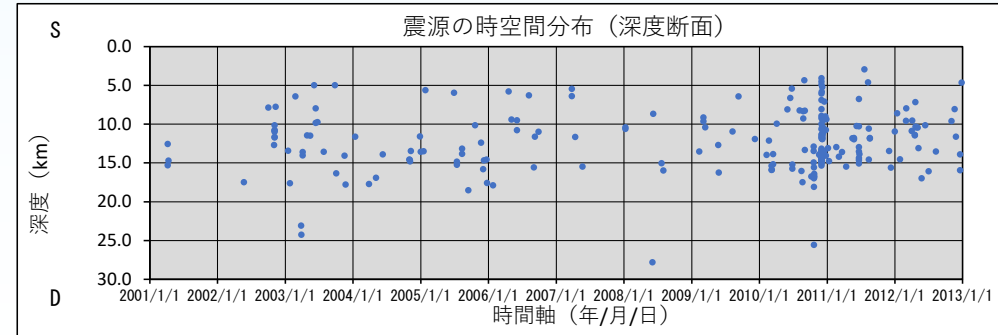
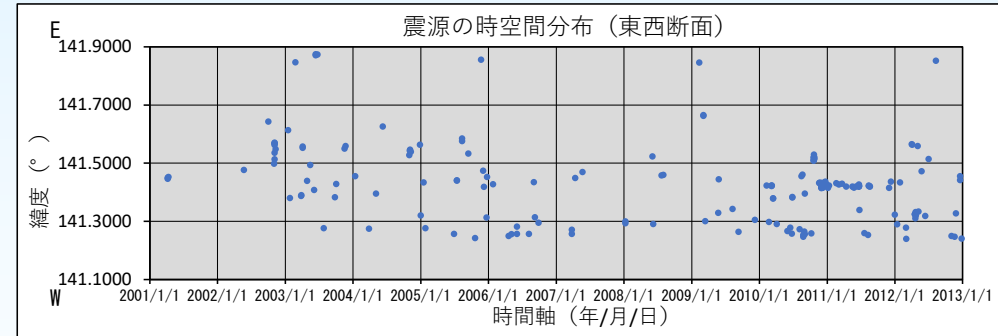
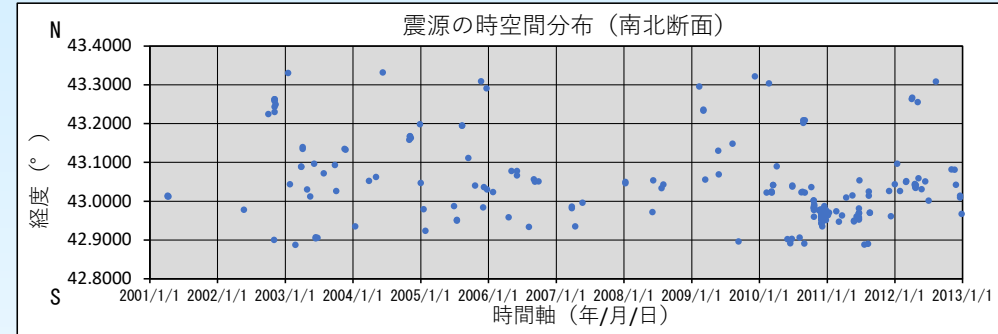
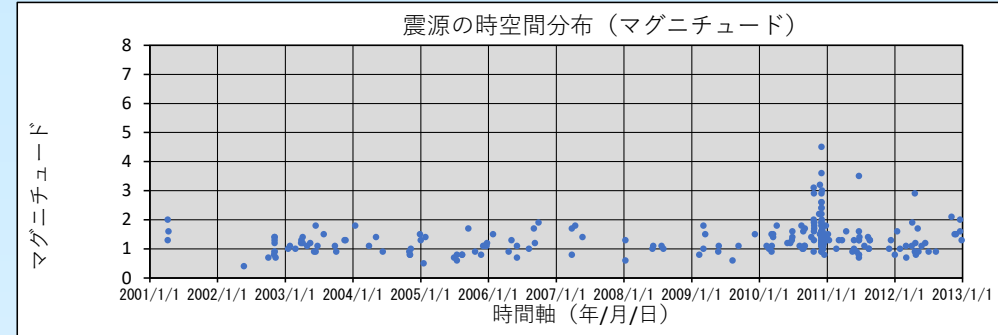
【震源位置と時空間分布】



データ点数 222

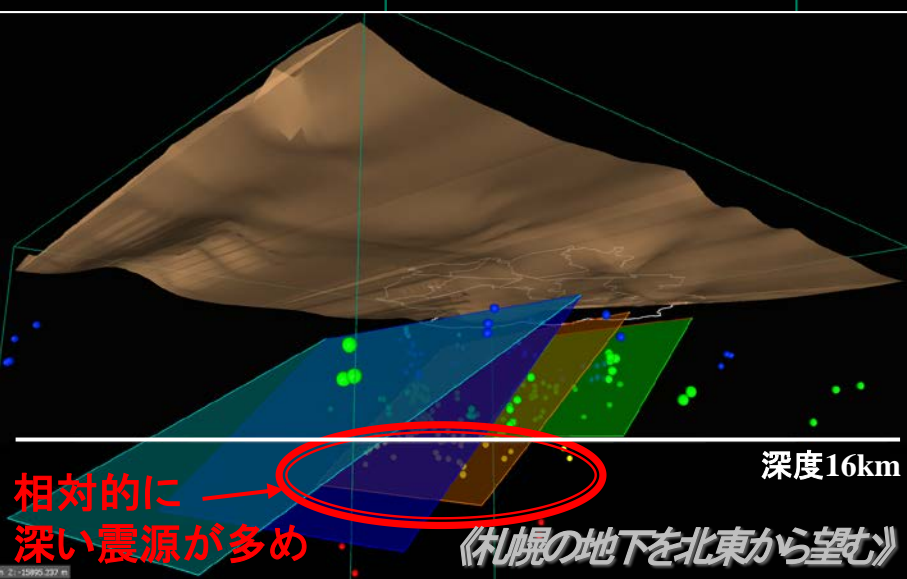
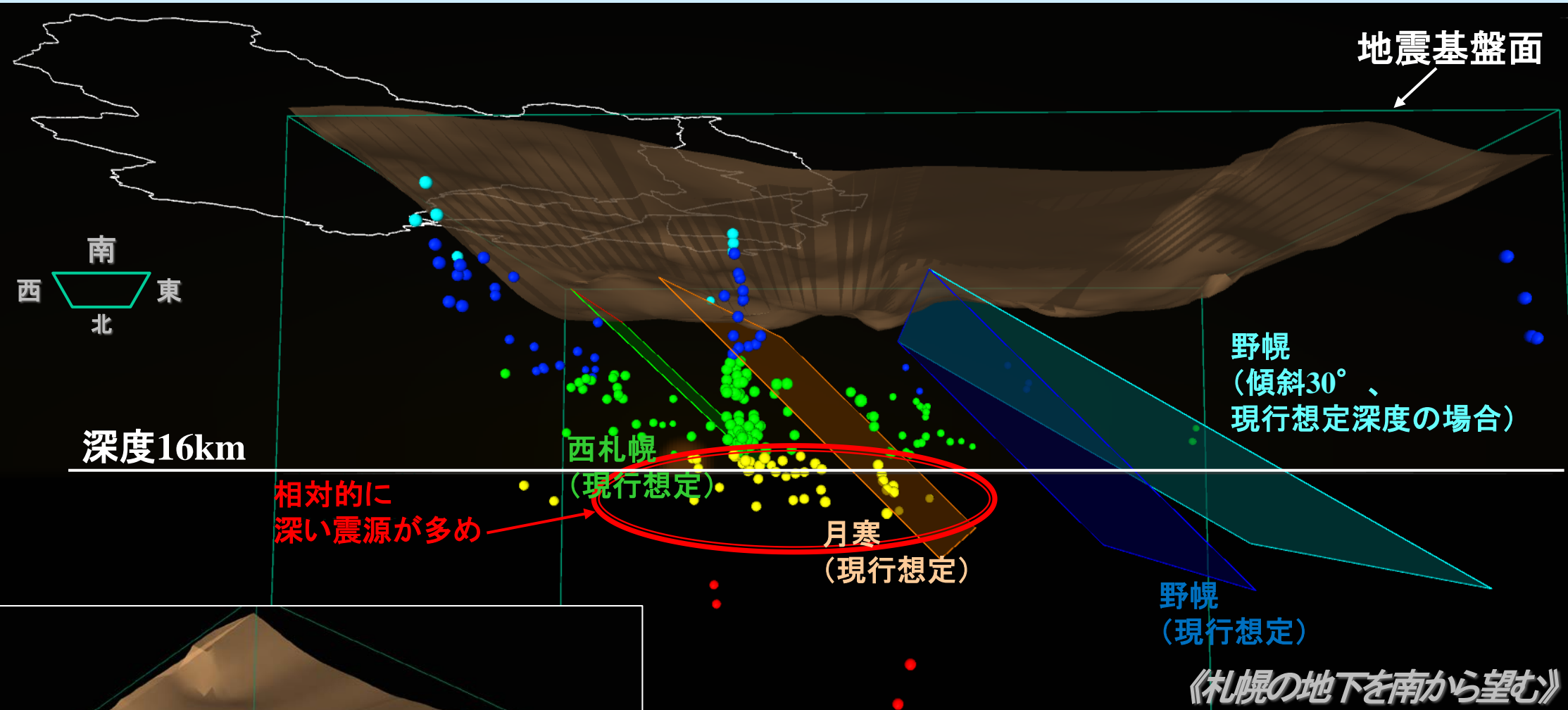
- 震源データ

抽出: 札幌周辺の低地
 ・緯度: 42.8833
 ~43.3333度
 ・経度: 141.1833
 ~141.875度



1.1 震源モデル～③震源データの地理的分布

【三次元モデル(現行想定および野幌傾斜30°モデルを投影)】



- 《震源の深度を示す色凡例》
- 深度0～5km: 水色
 - 深度5～10km: 青色
 - 深度10～15km: 緑色
 - 深度15～20km: 黄色
 - 深度20km以深: 赤色

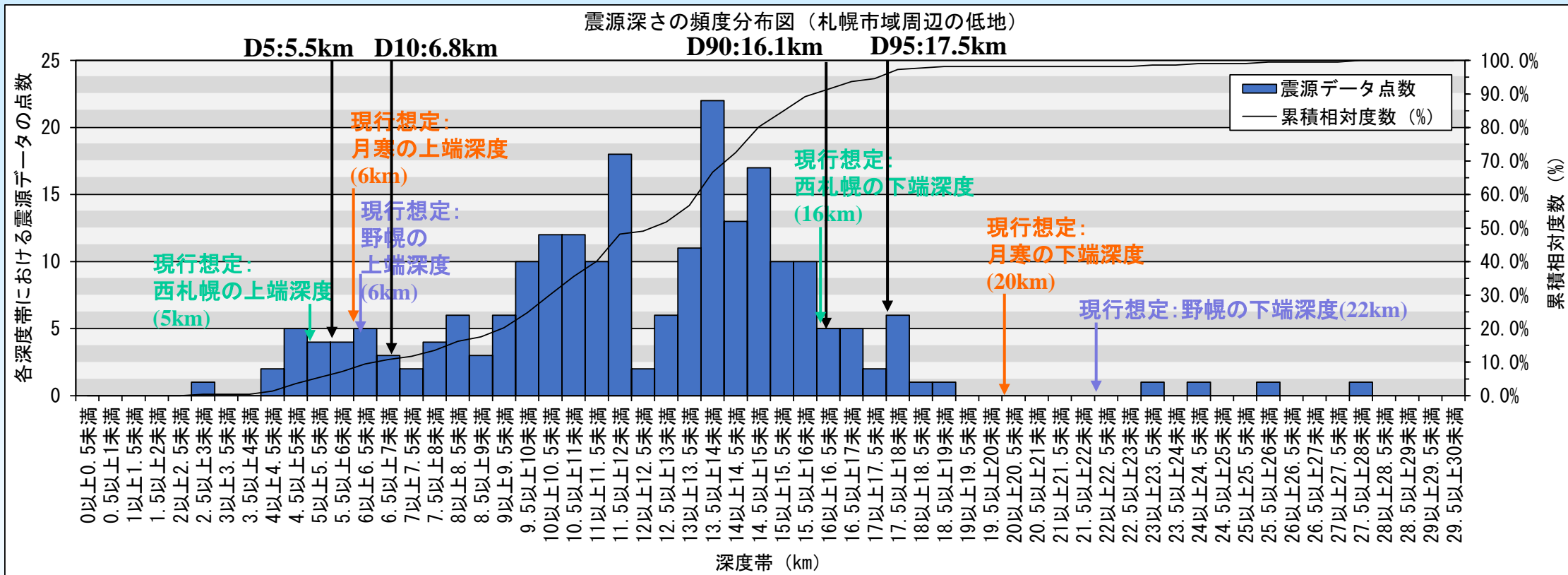
■ 地域全体的な震源データと断層モデルの比較

- ・ 震源は札幌市域東側付近にやや深い震源が多い

⇒ 下限は断層位置毎に設定が必要(併せて上限の確認を行う)

1.1 震源モデル～④震源深さの頻度分布(全体)

【震源データからの地震発生層上下面設定(地域全体)】



・D5とD10はともに深度6km前後 ~ 現行想定で地震発生層上限として設定した深さ(6km)と相関が良い。(地震基盤面の深くなっている場所:R1第2回委員会資料2-2P14参照)

⇒ 上限は、現行想定のお考え方である地震基盤面の参照を維持するのが妥当

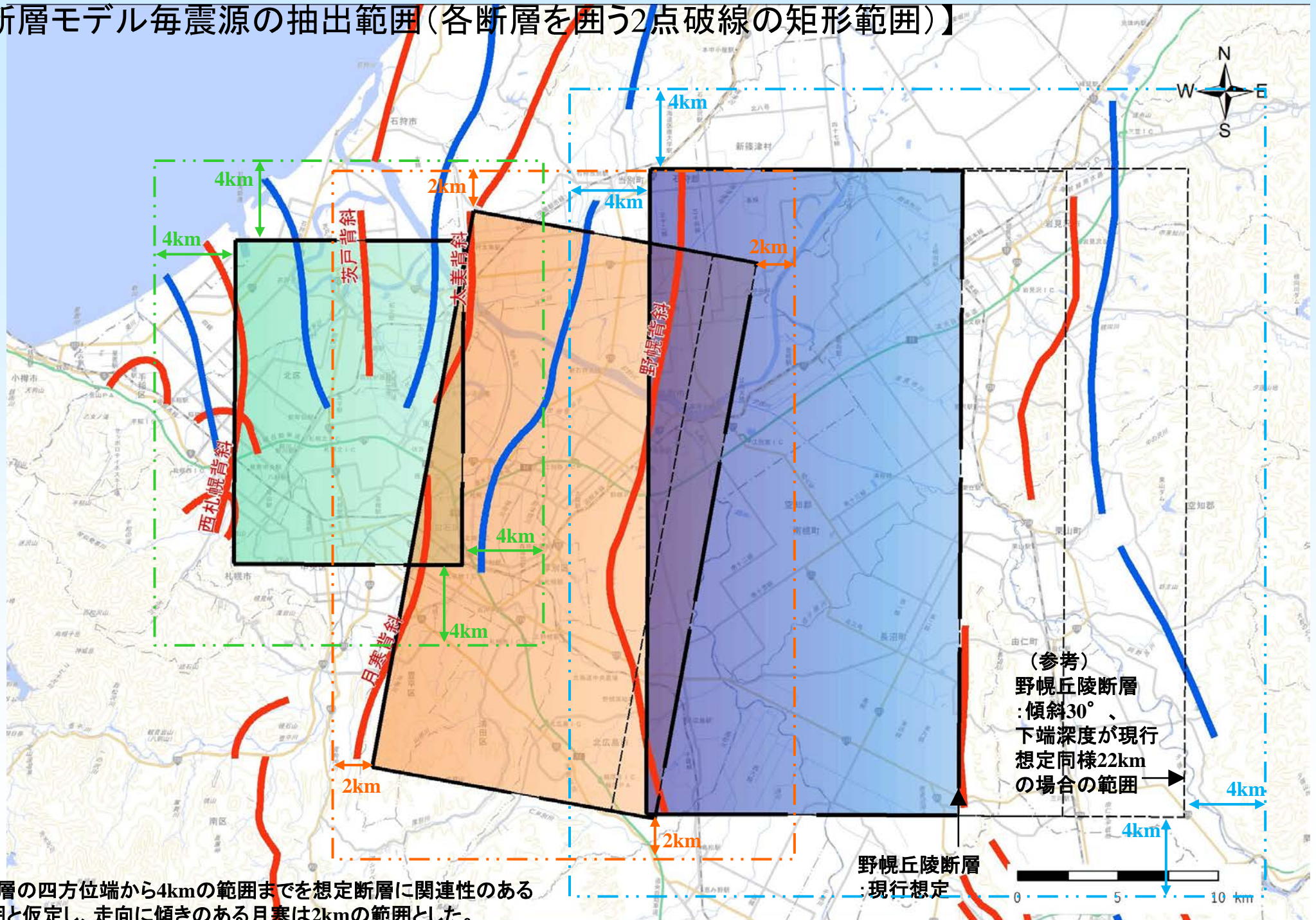
断層毎のD5・D10も確認

・D90は16.1km、D95は17.5km

⇒ 下限は、各想定伏在活断層周辺の震源に絞って、震源深さの分布を確認する (各断層毎の震源分布は《資料2-3:2.参照》、「地震月報」の震源分布は《資料2-3:3.参照》)

1.1 震源モデル～④震源深さの震度分布

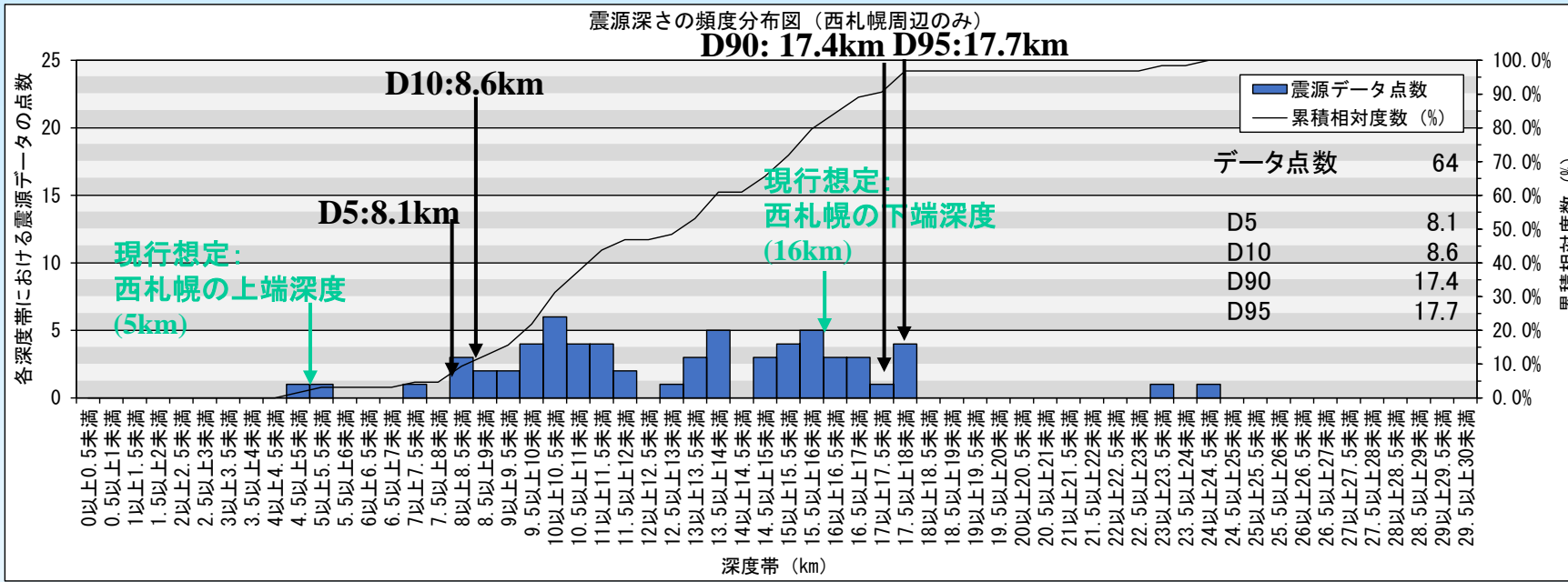
【断層モデル毎震源の抽出範囲(各断層を囲う2点破線の矩形範囲)】



・断層の四方位端から4kmの範囲までを想定断層に関連性のある範囲と仮定し、走向に傾きのある月寒は2kmの範囲とした。

1.1 震源モデル～④震源深さの頻度分布 (西札幌)

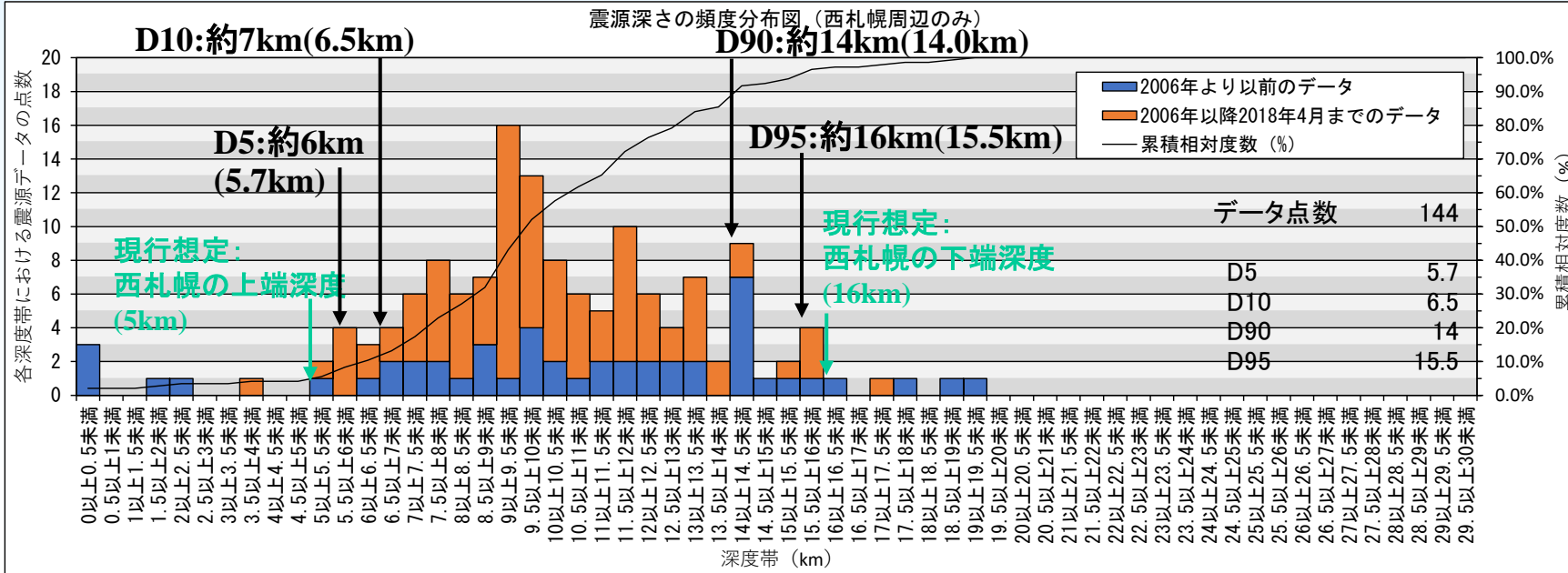
■高分解能震源カタログによる震源深さの頻度分布図



■カタログの分布傾向

- ・【上限】: データ点数は少ないが、D5は地震基盤面に比較し深い
- ・【下限】: データ点数は少ないが、D95に示すとおり、深度18km程度まで震源分布の集中がみられる

■地震月報による震源深さの頻度分布図(参考)



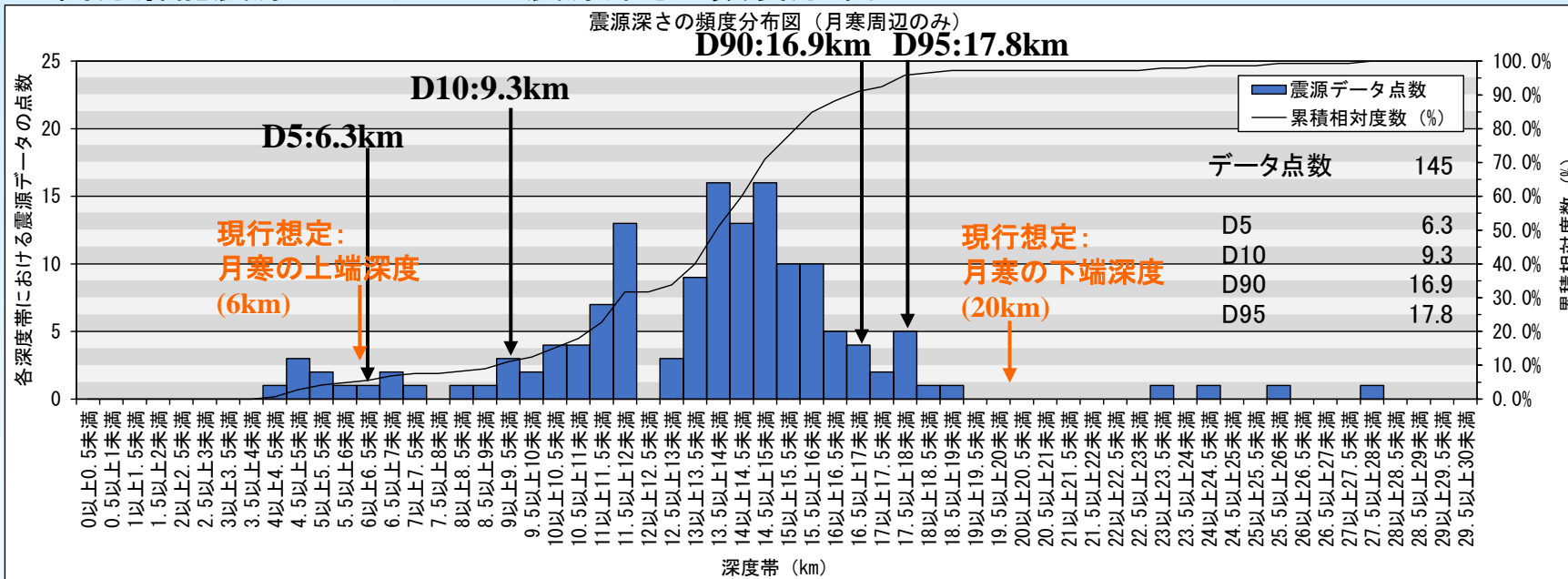
■地震月報の分布傾向(参考)

- ・【上限】: D5は現行想定および地震基盤面に近似
- ・【下限】: D95が現行想定に近似しているが、より深くにバラけて数点の震源がみられる

・上限は地震基盤面(地震月報とも近似)、下限は高分解能カタログのD95(18km)とする

1.1 震源モデル～④震源深さの頻度分布 (月寒)

■ 高分解能震源カタログによる震源深さの頻度分布図



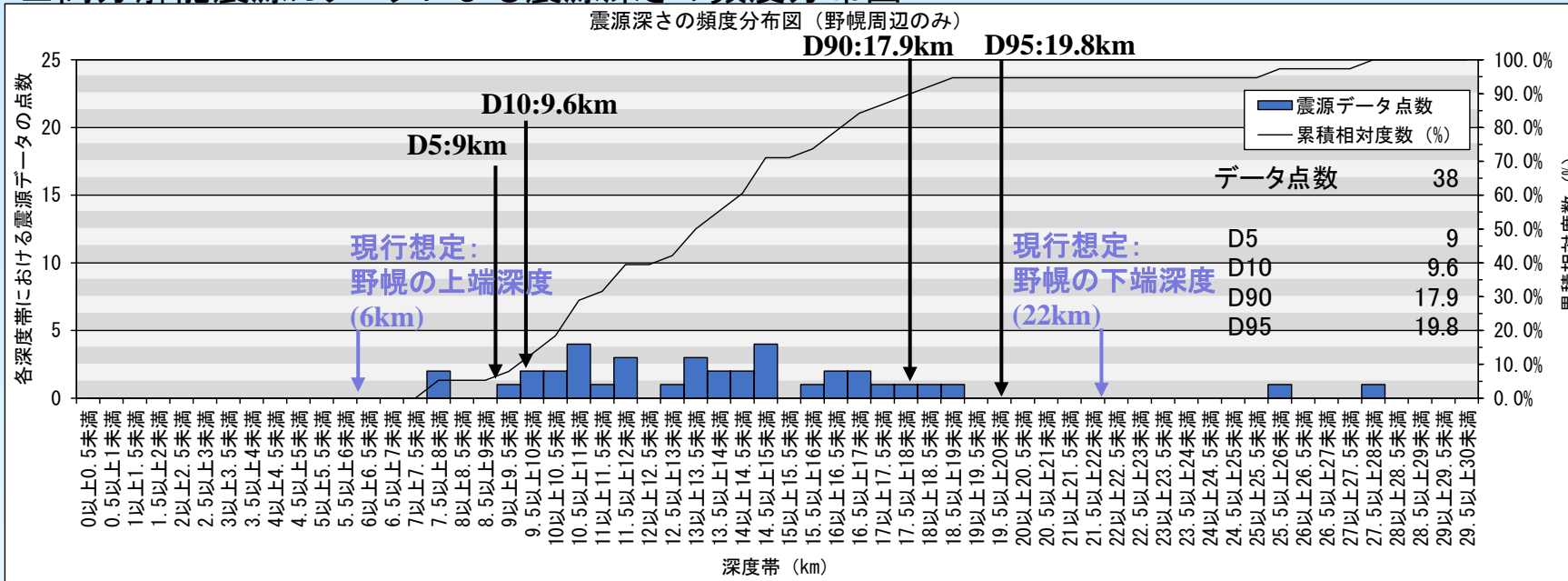
■ カタログの分布傾向

- ・【上限】: D5は地震基盤面と相関が良い
- ・【下限】: D95に示すとおり、深度18km程度まで震源分布の集中がみられる

- ・ 上限は、地震基盤面 (高分解能震源カタログのD5とも近似) とする
- ・ 下限は、高分解能震源カタログのD95 (18km) とする

1.1 震源モデル～④震源深さの頻度分布 (野幌)

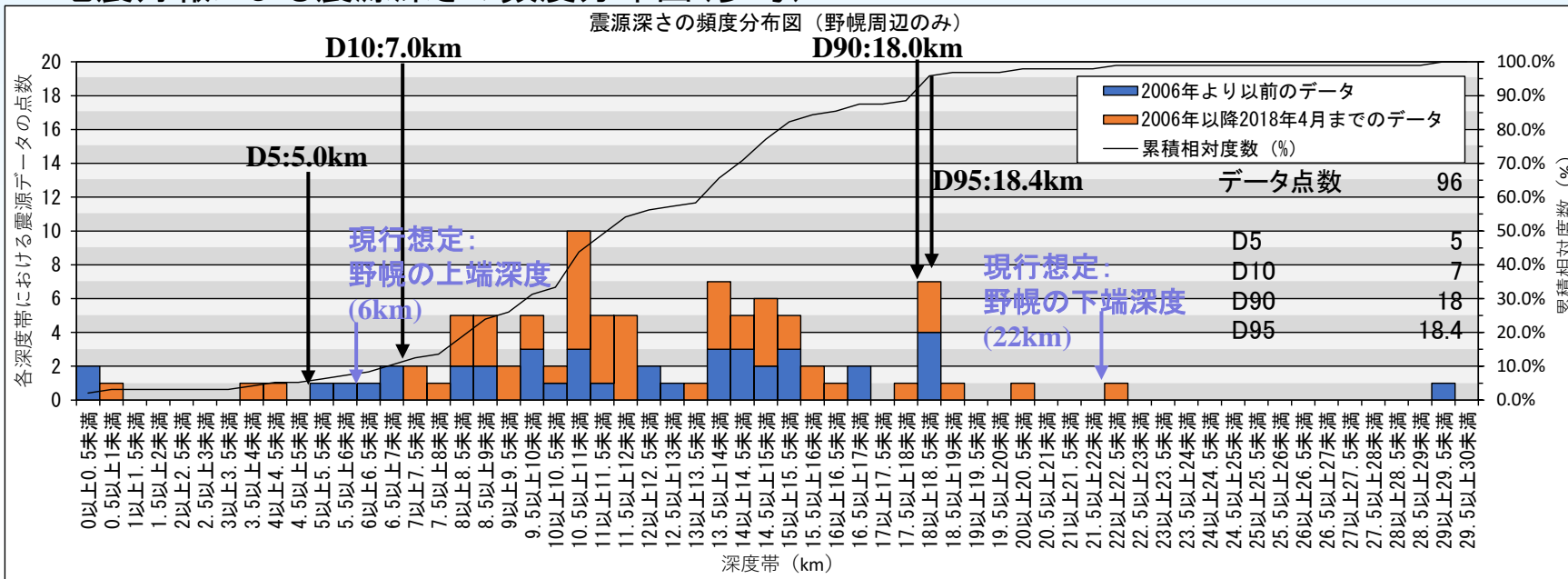
■高分解能震源カタログによる震源深さの頻度分布図



■カタログの分布傾向

- ・データ点数が極めて少ないため、地震月報データを用いる
- ・【上限】: D5は地震基盤面に比較し深い
- ・【下限】: D90(18km)程度まで震源分布の集中がみられる

■地震月報による震源深さの頻度分布図(参考)



■地震月報の分布傾向(参考)

- ・【上限】: 地震基盤面はD5・D10と近似
- ・【下限】: D90、D95双方に示すとおり、深度18km程度まで震源分布の集中がみられる

・上限は地震基盤面(地震月報D5・D10と近似)、下限は地震月報のD90・D95(18km)とする

1.1 震源モデル～④震源深さの頻度分布 (まとめ)

【震源深さの頻度分布から検討した各断層箇所での地震発生層一覧表】

想定伏在活断層		西札幌背斜に関連する断層		月寒背斜に関連する断層		野幌丘陵断層帯	
全体の震源分布	データ点数	222点					
	D5	5.5km					
	D10	6.8km					
	D90	16.1km					
	D95	17.5km					
	備考	<ul style="list-style-type: none"> ・D5は概ね地震基盤面深度と同様である。 ・D90は16km前後、D95は18km前後であるが、地理的にみて、札幌市域内に東側に深い震源が集中。 					
断層毎の震源分布	震源データ	高分解能震源カタログ	参考: 「地震月報」	高分解能震源カタログ	高分解能震源カタログ	「地震月報」	
	データ点数	64点	144点	145点	38点	96点	
	D5	8.1km	5.7km	6.3km	9.0km	5.0km	
	D10	8.6km	6.5km	9.3km	9.6km	7.0km	
	D90	17.4km	14.0km	16.9km	17.9km	18.0km	
	D95	17.7km	15.5km	17.8km	19.8km	18.4km	
地震発生層	上限・下限の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ・上限は安全側をみて現行想定同様の地震基盤面を参考とした深度に設定する ・下限は高分解能震源カタログで得られたD95の値から設定する 		<ul style="list-style-type: none"> ・上限は地震基盤面を参考とした深度と、高分解能震源カタログを用いたD5が概ね一致 ・下限は高分解能震源カタログを用いたD95の値から設定する 		<ul style="list-style-type: none"> ・高分解能震源カタログのデータが少ないことから、地震月報のデータから設定する(高分解能震源カタログでの深度よりも、上限は浅く地震発生層は厚い設定とする) 	
	上限	5km		6km		6km	
	下限	18km		18km		18km	

1.1 震源モデル～⑤諸元設定

伏在活断層		西札幌背斜に関連する断層		月寒背斜に関連する断層		野幌丘陵断層帯		
計算条件 パラメーター	条件	現行想定	見直し案	現行想定	見直し案	現行想定	見直し案	
	断層傾斜	45°	変更なし	45°	変更なし	45° → 30°		
	上限深度	5km	変更なし	6km	変更なし	6km	変更なし	
	下限深度	16km → 18km		20km → 18km		22km → 18km		
巨視的パラメーター (断層の概観を表すもの)	幅 ^{※1}	W(km)	16	16	20	17	22	24
	延長	L(km)	16	16	28	28	32	32
	幅の最大値	Wmax(km)	16	18	20	17	22	24
	地震発生層厚さ	Ts(km)	11	13	14	12	16	12
	地震発生層上限深度	Hs(km)	5	5	6	6	6	6
	地震発生層下限深度	Hd(km)	16	18	20	18	22	18
	断層傾斜角	$\delta(^{\circ})$	45	45	45	45	45	30
	断層面積	S(km ²)	256	256	560	476	704	768
	地震モーメント ^{※2}	Mo(N・m)	3.89E+18	3.89E+18	1.74E+19	1.26E+19	2.76E+19	3.28E+19
	平均すべり量	D(m)	0.47	0.47	0.97	0.83	1.22	1.33
	モーメントマグニチュード	Mw	6.33	6.33	6.76 → 6.67		6.89 → 6.94	
気象庁マグニチュード	Mjma	6.73	6.73	7.28	7.16	7.45	7.52	

※1: 幅の最大値Wmax ≥ 延長Lのとき、幅W=L、幅の最大値Wmax < 延長Lのとき、幅W=Wmax

※2: 「レシピ」で示される規模に応じた3種類の式から適合した式で計算を実施。

(マグニチュードが約0.1下がると、エネルギー(地震モーメント)は約0.7倍、0.05上がると約1.2倍となる)

見直しによる、震源モデルの規模等計算結果

- ・「西札幌」の断層幅は変更なし(※1)
- ・「月寒」の地震規模(Mw)は若干低下(6.76 → 6.67) ∵ 地震発生層下限深度が浅くなったため
- ・「野幌」の地震規模(Mw)は若干上昇(6.89 → 6.94) ∵ 地震発生層下限深度が浅くなったが、断層傾斜角が緩やかになったため

1.1 震源モデル～諸元設定

【参考～周辺の活断層の震源モデル設定】

	当別断層	増毛山地 東縁断層 帯	沼田－砂 川付近の 断層帯	石狩低地 東縁断層 帯(主部)
上端深度	3km	3km	3km	9km
断層角度	40°	45°	45°	30°
断層幅	18km	18km	18km	18km
下端深度	15km	16km	16km	18km

「全国地震動予測地図 別冊 震源断層を特定した地震動予測地図」(地震本部地震調査委員会、2014.12)よりパラメーターを引用し、一覧表作成

・見直しを行った震源断層の下端深度は、周辺にある“震源が特定された活断層”のパラメーターと同じ傾向を示す

1.1 震源モデル～⑥諸元設定のまとめ

【まとめ】

■ 新たな知見等

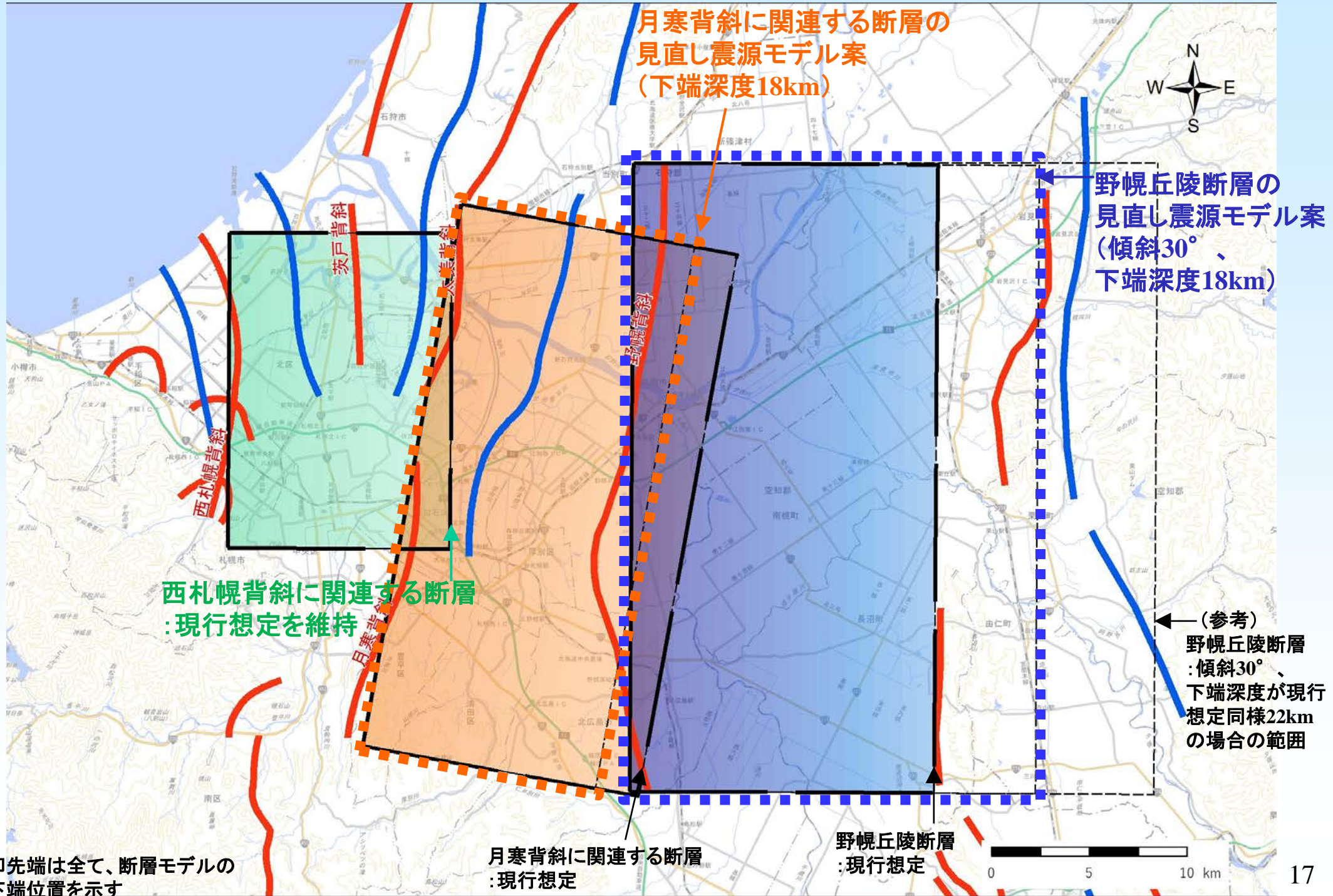
- ・日本海PJによる地震探査により、野幌丘陵断層帯の傾斜が、緩勾配である可能性が示唆された。（※進行中プロジェクトの運営委員会資料による、研究途中の公開資料より）
- ・観測体制と解析精度が向上し、近年の高精度震源データが増加した。
このため、「レシピ」の手法（震源深さの統計処理）により、地震発生層の設定を再検討した。

■ 震源データによる想定伏在活断層の地震発生層の検討結果

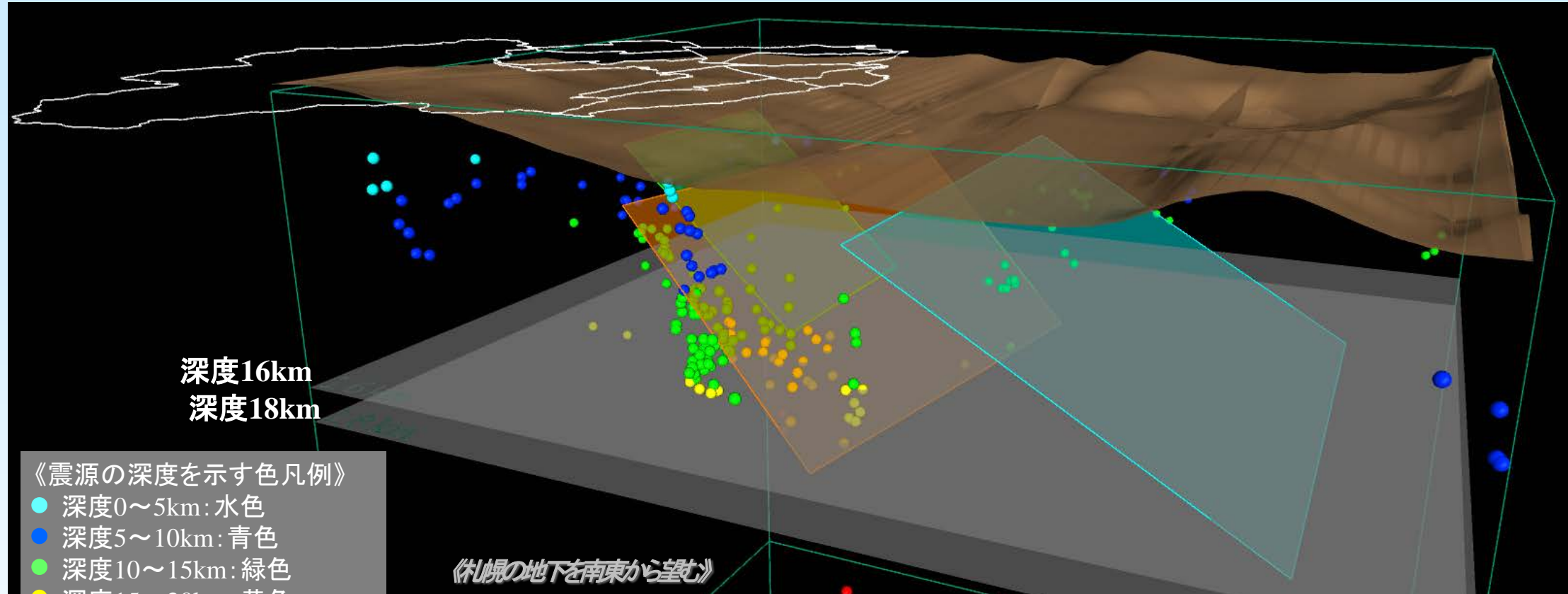
- ・上限は、現在においても地震基盤面で妥当
- ・下限は、現行想定より一部浅い深度を推算

想定伏在活断層	現行想定からの変更内容	規模の変化
西札幌背斜に関連する断層	・地震発生層下限の見直し	・震源モデル上の断層規模の変化なし
月寒背斜に関連する断層	・地震発生層下限の見直し(断層幅の減少)	・地震規模(M _w)が若干低下(6.76↘6.67)
野幌丘陵断層帯	・断層傾斜角の見直し(断層幅の増大) ・地震発生層下限の見直し(断層幅の減少)	・地震規模(M _w)が若干上昇(6.89↗6.94)

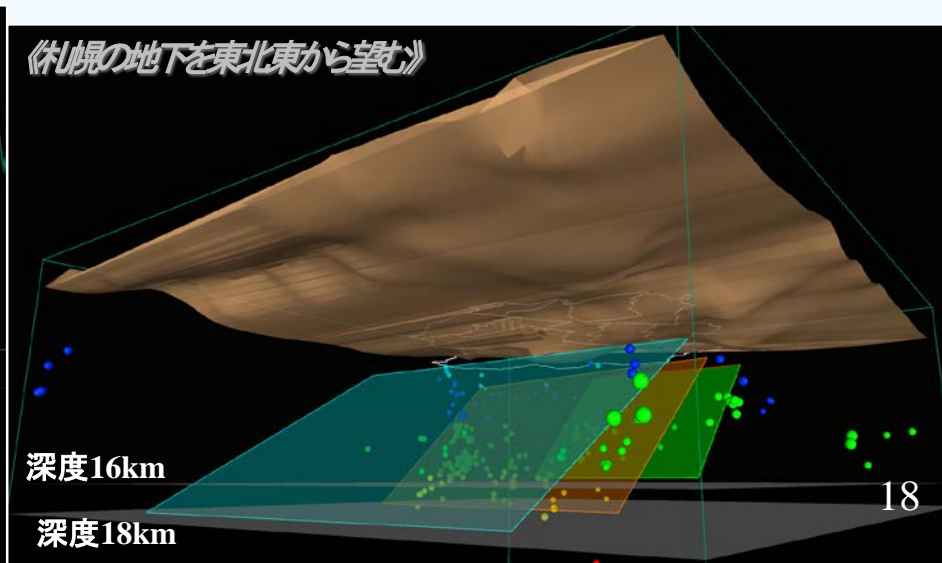
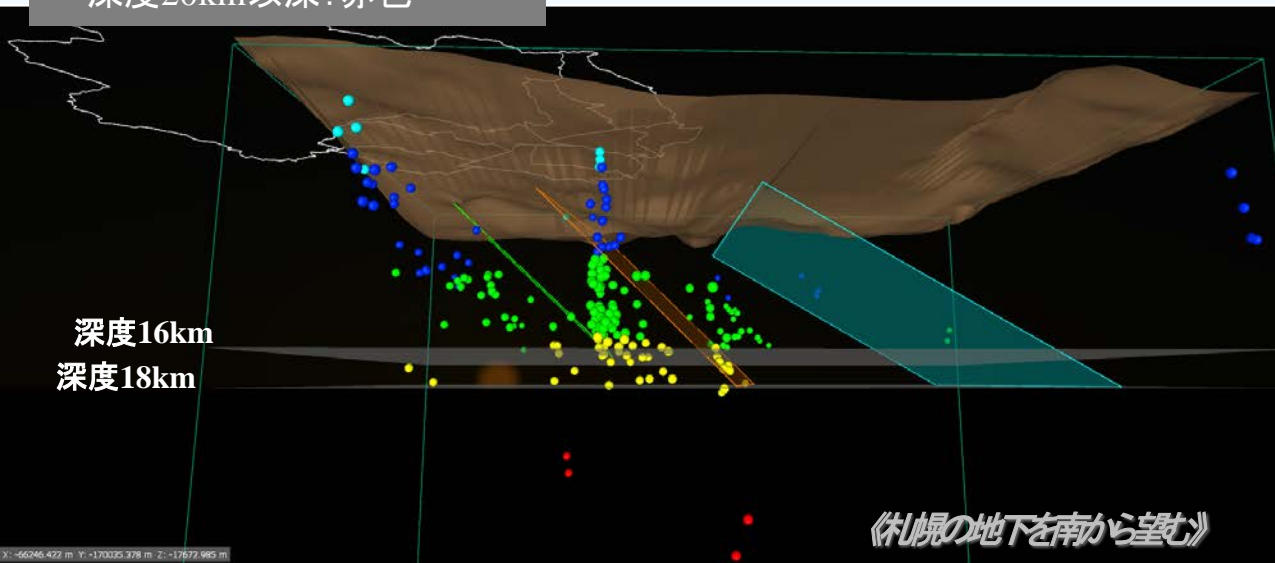
1.1 震源モデル～⑦見直し震源モデル案(平面図)



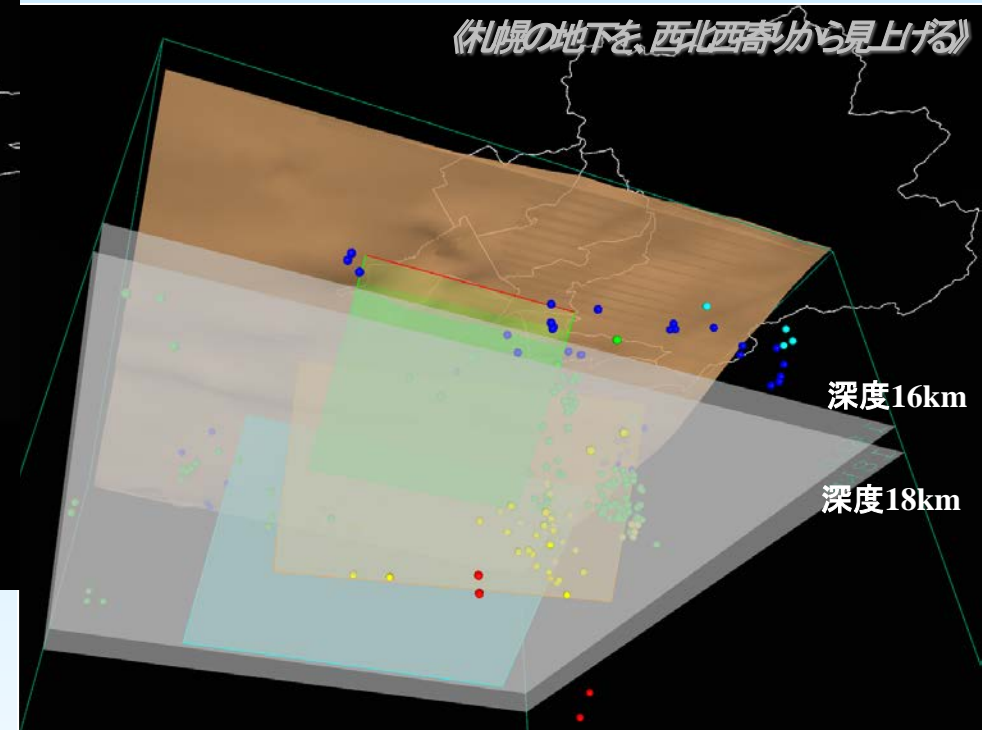
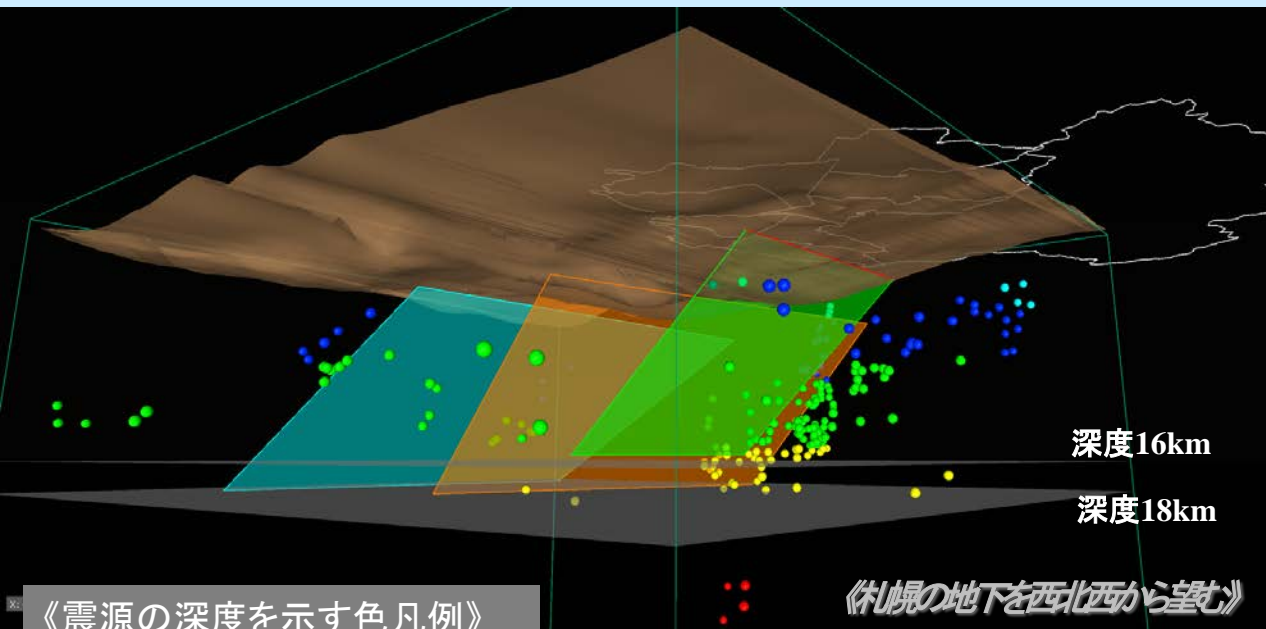
1.1 震源モデル～⑦見直し震源モデル案(3D表示 1/2)



- 《震源の深度を示す色凡例》
- 深度0～5km: 水色
 - 深度5～10km: 青色
 - 深度10～15km: 緑色
 - 深度15～20km: 黄色
 - 深度20km以深: 赤色



1.1 震源モデル～⑦見直し震源モデル案(3D表示 2/2)



《震源の深度を示す色凡例》

- 深度0～5km: 水色
- 深度5～10km: 青色
- 深度10～15km: 緑色
- 深度15～20km: 黄色
- 深度20km以深: 赤色

