

北海道の地震活動度を考慮した地震危険度評価

Seismic hazard assessment for Hokkaido considering local seismic activities

(独)北海道開発土木研究所 ○ 正員 佐藤 京(Takashi SATOH)
 (独)北海道開発土木研究所 正員 岡田慎哉(Shinya OKADA)
 (独)北海道開発土木研究所 正員 西 弘明(Hiroaki NISHI)
 飛島建設(株)技術研究所 正員 池田隆明(Takaaki IKEDA)
 飛島建設(株)技術研究所 正員 三輪 滋(Shigeru MIWA)
 専修大学北海道短期大学 正員 金子孝吉(Takakichi KANEKO)

1. はじめに

日本列島の地震活動は極めて活発であり、どの地域でも規模の大きな地震が発生する可能性がある。特に北海道では、南側の太平洋岸には太平洋プレートの沈み込み帯、西側には日本海東縁部の地震活動域があり、これらの地域を震源として規模の大きい地震が発生している。また、道内には8つの要注意活断層¹⁾が存在し、内陸直下型地震が発生する可能性もある。

このように北海道の地震活動は活発である。しかし、道内の地震活動は様ではなく、地域ごとに分類すると過去に規模の大きい地震が発生していない地域もあり多様である。そのため、地震危険度の評価では、その地域および周辺の地震発生源の特徴や地盤条件を十分考慮する必要がある。

本検討では、北海道における構造物の耐震設計法、および既設構造物の補修・補強方法の確立を目指し、北海道の地域特性を考慮した地震危険度評価を実施する。具体的には、既往の地震の発生状況や活断層分布などから、地震のタイプと地震発生源を抽出し、それぞれの地震発生源に対する地震危険度を算出する。

2. 北海道の地震活動

図-1に北海道周辺で発生した地震の震央分布(～2002年)を示す。震源分布が濃く見える範囲は地震が多く発生していることを示す。震源は北海道全土にかけてみられるが、基本的には限られた領域に集中していることがわかる。太平洋岸の沈み込み帯に沿った範囲、日本海東縁部がその領域に相当する。太平洋側の沈み込み帯では、根室半島の東方沖に多く発生している。

北海道は内陸の地震の記録が比較的少ないが、部分的に地震が多く発生している地域があることがわかる。震源の色は震源深さを示しており、震源が浅い地震がこれに相当する。一方、震源が深い地震はプレートの沈み込みによる地震と考えられる。

図-1中には、マグニチュードが7以上の地震の震央を黒○印で示す。この図には、2003年十勝沖地震(Mj8.0)と2004年釧路沖の地震(Mj7.1)の震央を追加している。規模が大きい地震の震源は全て海域にあるため、プレート境界で発生した地震と考えられる。

以上より、北海道の地震危険度に影響を及ぼす地震発生源は、内陸活断層、太平洋側のプレートの沈み込み帯、日本海東縁部、その他、の4つに分類できる。

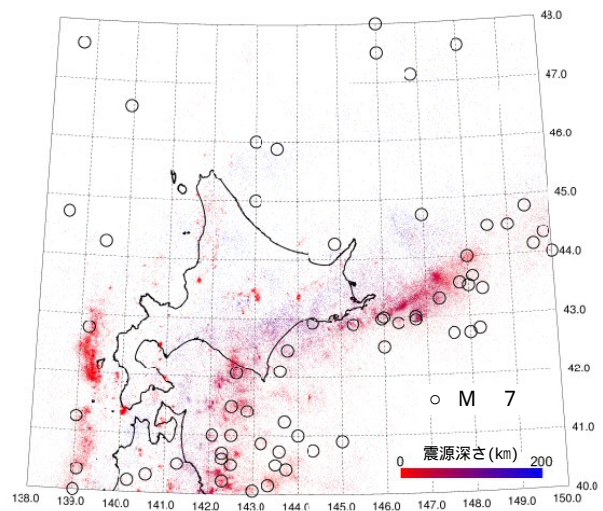


図-1 北海道周辺で発生した地震の震央分布

3. 検討対象とする地震発生源の設定

3.1 内陸活断層

北海道では内陸活断層による規模の大きい地震は記録されていないが、規模の大きいものも含めていくつかの活断層が確認されている。

図-2に中田・今泉²⁾による活断層分布を示す。地震調査研究推進本部¹⁾では、全国の活断層の中から影響度の大きい98の活断層を要注意活断層に指定している。北海道では、標津断層帯、十勝平野断層帯、富良野断層帯、増毛山地東縁断層帯、当別断層、石狩低地東縁断層帯、函館平野西縁断層帯、黒松内低地断層帯が指定されており、影響度が高いことからこれら全てを検討対象とする。要注意活断層では光地園断層帯は十勝平野東縁断層帯に含まれているが、本検討では別の断層として取り扱う。

活断層については多くの調査が行われているが、全てを明らかにすることは困難である。特に北海道には多くの火山があり、火山灰の堆積によりリニアメントが隠れ、活断層が明確ではない可能性がある。そのため、北海道の都市部を対象に、都市直下型地震を引き起こす想定活断層を配置する。ここでは、北海道最大の都市である札幌市と、都市としての規模が大きく地震発生源の空白域である旭川市を対象に想定活断層を配置する。

これらの他に、活断層マップで²⁾断層と判断された活断層と規模の大きい推定活断層の計12断層を検討対象とする。

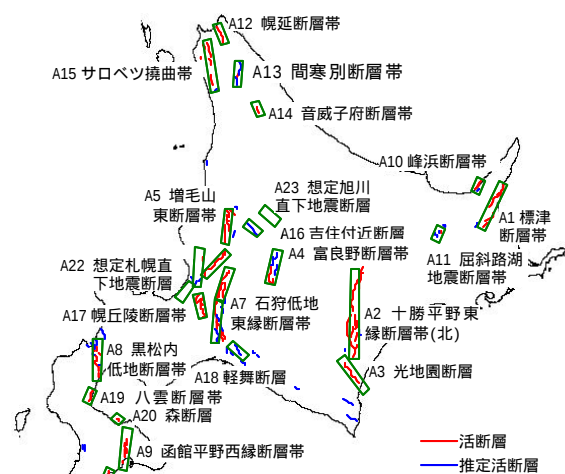


図-2 内陸活断層と地震発生源

3.2 太平洋側の沈み込み帯

太平洋側の沈み込み帯に発生する地震は、プレート間地震とプレート内地震に分けて地震発生源を設定する。

(1) プレート間地震

この地域では断続的に規模の大きい地震が発生している。図-3 にこれらの地震の震源と震源域を示す。

1968 年十勝沖地震の震源付近では、1856 年安政八戸沖地震(M7.8)や 1931 年八戸沖地震(Mj7.2)など規模の大きい地震が発生している。また、2003 年十勝沖地震は、1952 年十勝沖地震の再来地震と考えられているように、これらの震源付近では、比較的短い間隔で規模の大きい地震が発生しており、今後も発生すると考えられる。そのため、これらの震源域を地震発生源とする。

(2) プレート内地震

プレート内地震は沈み込むプレート内で発生する地震である。最近では、1993 年釧路沖地震(Mj7.5)と 1994 年北海道東方沖地震(Mj8.2)がこのタイプの地震に相当する。また、1978 国後水道の地震(Mj7.2)も深さ約 100km において太平洋プレートが破壊したプレート内地震である。図-4 にプレート内地震の震央を震源深さが 75km より深い地震の震央分布とあわせて示す。

プレート内地震の発生機構については不明な点が多いため、確認された 3 つの地震については再来地震を想定する。また、北海道への影響度を考慮し、規模が大きい地震が多く発生している根室半島地域に想定プレート内地震を設定する。

3.3 日本海東縁部

日本海東縁部は、新たなプレート境界と考えられ、1983 年日本海中部地震(Mj7.7)や 1993 年北海道南西沖地震(Mj7.5)は、このプレート境界での断層運動を示すものとして考えられている。

この地域で発生した規模の大きい地震の震源分布を既往地震の震源分布とともに図-5 に示す。震源域が重なった積丹周辺の地震、積丹半島沖の地震および留萌西岸の地震は一つの地震発生源とし、その他の地震は再来地震

を想定する。サハリン南西沖地震は、南側に移動させ、北海道により近い震源域を想定する。この他に、空白域となっている積丹半島はるか沖に想定地震を設定する。

3.4 その他

図-1 からわかるように、浦河沖では多くの地震が発生している¹⁾。この領域で発生した規模の大きい地震としては、1982 年浦河沖地震(Mj7.1)が挙げられる。そこで、再来浦河沖地震を地震発生源に追加する。また、ほとん

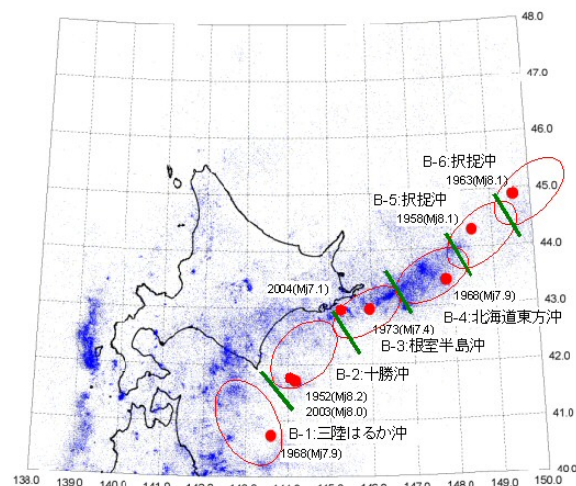


図-3 プレート間地震の震源と震源域

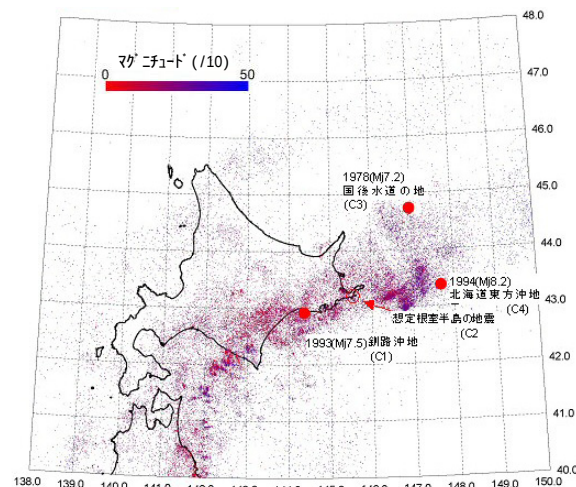


図-4 プレート内地震の震源と震源域

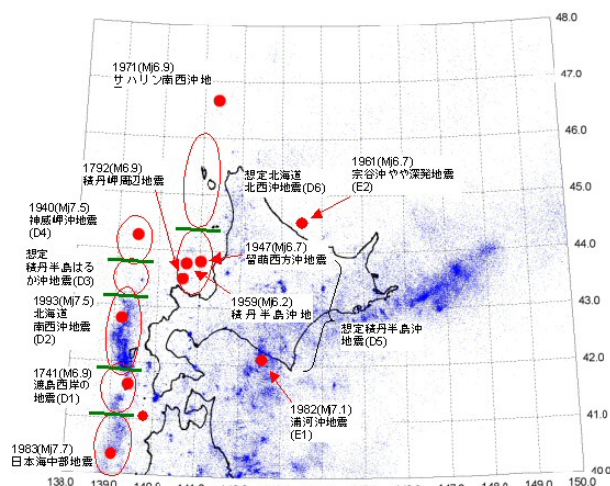


図-5 日本海東縁部およびその他の地震の震源と震源域

ど地震が発生していない地域で発生した比較的規模の大きい地震として、1969年宗谷沖やや深発地震(Mj6.7)の再来地震を地震発生源に追加する。

表-1 および図-6 に検討対象とした地震発生源を示す。



図-6 地震危険度の検討対象とした地震発生源

表-1 想定する地震発生源

記号	断層および震源	M	Mw	記号	断層および震源	M	Mw
A01	標津断層帯	7.6	7.0	B01	再 1968 十勝沖地震	7.9	7.2
A02	十勝平野東縁断層帯	8.0	7.3	B02	再 1952 十勝沖地震	8.2	7.5
A03	光地園断層帯	7.3	6.8	B03	再 1973 根室半島沖地震	7.4	6.9
A04	富良野断層帯	7.3	6.8	B04	再 1969 北海道東方沖地震	7.9	7.2
A05	増毛山東断層帯	7.7	7.1	B05	再 1958 択捉沖地震	8.1	7.4
A06	当別断層帯	7.3	6.8	B06	再 1963 択捉沖地震	8.1	7.4
A07	石狩低地東縁断層帯	7.9	7.2	C01	想 日高山地の地震	7.5	6.9
A08	黒松内低地断層帯	7.4	6.9	C02	再 1993 釧路沖地震	7.5	6.9
A09	函館平野西縁断層帯	7.2	6.7	C03	想 根室半島の地震	7.5	6.9
A10	標津断層帯	6.8	6.4	C04	再 1994 北海道東方沖地震	8.2	7.5
A11	屈斜路湖地震断層帯	6.0	5.8	D01	再 1741 渡島西岸の地震	7.0	6.5
A12	幌延断層帯	7.1	6.6	D02	再 1993 北海道南西沖地震	7.5	6.9
A13	間瀬川断層帯	7.6	7.0	D03	想 積丹半島はるか沖地震	7.0	6.5
A14	官宮子府断層帯	7.0	6.5	D04	再 神威岬沖地震	7.5	6.9
A15	サロベツ褶曲帯	6.5	6.2	D05	想 積丹半島沖地震	7.0	6.5
A16	吉住付近断層	6.6	6.3	D06	想 北海道北西沖地震	7.5	6.9
A17	野幌丘陵断層帯	7.1	6.6	E01	再 1982 浦河沖地震	7.1	6.6
A18	軽井断層帯	6.8	6.4	E02	再 1961 宗谷沖やや深発地震	6.7	6.3
A19	八雲断層帯	6.3	6.0				
A20	森断層帯	6.1	5.9				
A21	森越断層	5.8	5.6				
A22	想 札幌直下地震	7.1	6.6				
A23	想 旭川直下地震	7.1	6.6				

想:想定地震 再:再来地震

A:内陸活断層 B:プレート間 C:プレート内 D:日本海東縁部内陸 E:その他

4. 地震発生源に対する地震危険度の検討方法

3. で設定した地震発生源に対して地震危険度の検討を実施する。本検討では、地震危険度を示す指標には計測震度を使用する。基盤における最大速度の計算には、距離減衰式を使用する。距離減衰式には開発土木研究所の提案式(関十研式^{3),4)}と司・翠川の提案式⁵⁾を併用する。

4.1 震源パラメータの設定

震源パラメータは、断層の幾何学的位置および形状を指定するためのパラメータと、距離減衰式に使用するパラメータを設定する。

開土研式で使用するパラメータは、マグニチュード(Mj)と震源距離(R)である。本検討では、断層面を設定するため震源という概念を有していないため、断層面の中心点を震源と定義する。司・翠川式では距離のパラメータとして断層面最短距離を使用する。その他のパラメータとして、モーメントマグニチュード(Mw)、断層タイプ、震源深さである。震源深さは、開土研式と同様に断層面の中心点での深さとした。

(1)内陸活断層を対象とした地震発生源

断層面基準点，断層長さ(L:km)および走向は活断層マ

ップから読み取った断層の幅は断層長さの 1/2 とした．断層面の上面深さおよび傾斜角はそれぞれ全て 2.0km と 90 度とした．マグニチュード(M)は断層長さに基づき(1)式⁶⁾から推定した．なお本検討では $M=M_i$ としている．

$$\log L = 0.6M - 2.9 \quad (1)$$

M_w は(2)式⁷⁾で M_j から(3)式により設定した.

$$\log M_o = 1.17 M_j + 10.72 \quad (2)$$

$$\log M_o = 1.5 M_w + 16.1 \quad (3)$$

(2) 内陸活断層以外の地震発生源

基本的に既往地震の震源パラメータ⁸⁾を用いて設定した。震源パラメータが明らかにされていない地震については、震源分布などから推定した。

4.2 基盤の最大速度の算出

距離減衰式により算出する。ただし、プレート内地震については、震源が深い釧路地域で発生するプレート内地震に対応できるように、1993 年釧路沖地震の最大速度を再現できるように距離減衰式を修正して使用した。

4.3 地表の最大速度の算出

基盤の最大速度に増幅特性を乗じて算出する。増幅特性は、松岡・翠川の方法⁹⁾により設定する。この方法は、関東地域で得られたデータから構築されているため、地盤特性と増幅度との関係には、北海道のデータで構築された経験的関係式を使用する³⁾。

4.4 計測震度の算出

翠川・他¹⁰⁾による最大速度と計測震度との経験的關係式を用い，地表の最大速度から計測震度を算出する，

5. 地震危険度の評価

図-7～図-10に内陸活断層、プレート間地震、プレート内地震、日本海東縁部およびその他の地震を対象とした場合の計測震度の最大値および計測震度の最大値を与える地震発生源を示す。本報告では紙面の都合上、司・翠川の距離減衰式による結果のみを示す。

内陸活断層を想定した場合、最大震度は震度 6 強と大きく、主に要注意活断層の周辺で想定されている。その他の地域でも大きな震度が想定され、宗谷支庁の南部から上川・網走支庁の北部にかけての地域その他、一部の限定された地域を除き震度 5 弱以上が想定されている。そのため、内陸活断層は北海道の地震危険度に大きな影響を及ぼす地震発生源と考えられる。

プレート間地震を対象とした場合、最大震度は 6 弱であるが、その範囲は地盤が軟弱な釧路地域の一部と限定されている。震源から離れた宗谷支庁や後志支庁では震度 3 程度と小さい。計測震度の最大値は道南地域を除き除き 1952 年十勝沖地震の再来地震が与えている。

プレート内地震を対象とした場合の最大震度の分布はプレート間地震に似ているが、震度は1段階程度大きく、十勝・釧路地域の一部と根室地域の広い範囲で震度6弱が観測されている。道東地域に対しては影響度が高い地震であることがわかる。

日本海東縁部およびその他の地震による震度はそれ以外の地震発生源の地震に比べると小さいが、奥尻島で震度 5 強、震源に近い檜山・後志支庁と日高支庁では震度 5 弱であり、注意が必要である。

図-11 に全ての地震発生源を対象とした場合の結果を同様に示す。想定される最大震度は震度 6 強であり、道東地域を除き、ほとんどの地域において内陸活断層を対

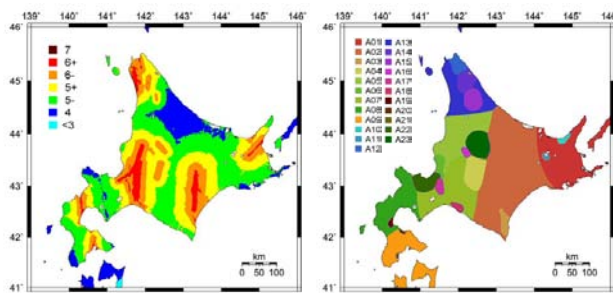


図-7 内陸活断層による地震を想定した地震危険度

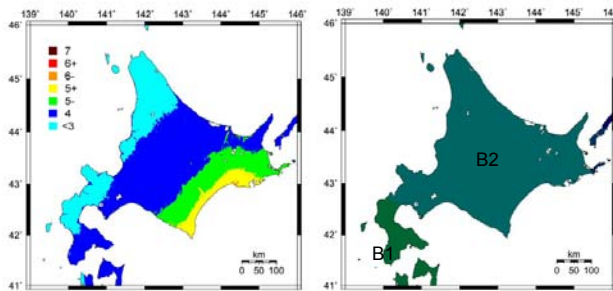


図-8 プレート間地震を想定した地震危険度

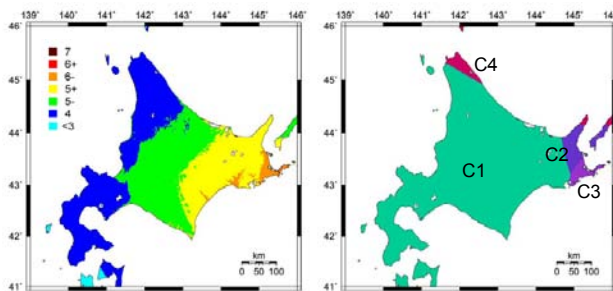


図-9 プレート内地震を想定した地震危険度

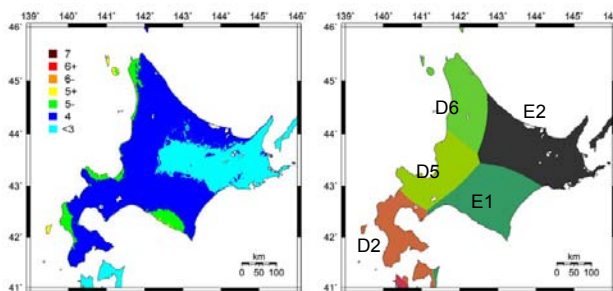


図-10 日本海東縁部とその地域を想定した地震危険度

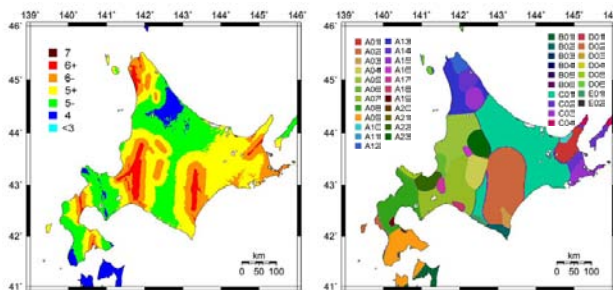


図-11 全ての地震発生源を考慮した地震危険度

象とした地震発生源が最大震度を与える。また、最低震度は 4 であり、北海道内は最低震度 4 以上の揺れが発生する可能性がある。

土木学会の第三次提言¹¹⁾を参考には設計用の地震動に活断層が確認されていない地域でもマグニチュード 6.5 の内陸型地震を想定することが指摘されている。そのため、断層の幾何学的形状はそのまま保持した上で、距離減衰式に用いる地震規模の最大を M6.5 とした場合の最大震度分布を図-12(a)に示す。また、2004 年新潟県中越地震を参考に、地震規模の最大を M6.8 とした場合の最大震度分布を図-12(b)に示す。

いずれの場合も最大震度は 6 強であり、断層ごく近傍に限定される。地域の地盤特性にもよるが、概ね M6.8 の場合は断層から約 50km、M6.5 の場合は約 40km の範囲が震度 5 弱以上となっている。

6. まとめ

北海道の地震危険度に最も影響を及ぼす地震発生源は内陸活断層である。特に規模の大きい断層の近傍では震度 6 強の揺れが想定される場合がある。

全ての地震発生源を考慮した場合、北海道で想定される最大震度は震度 6 強である。また、最低震度は震度 4 であり、北海道内では最低でも震度 4 以上の揺れにおそわれる可能性がある。

道東地域では、プレート内地震の影響が大きい。

プレート間地震だけを対象とすれば、北海道の北側および西側の地震危険度は小さい。

【参考文献】1) 地震調査推進研究本部：<http://www.jishin.go.jp>, 2) 中田高・今泉俊文編：活断層データマップ，東大出版会，2002.，3) 佐藤京・他：北海道開発局の地震情報伝達システム(WISE)による地震観測データを用いた距離減衰式について，第 26 回地震工学研究発表会講演論文集，209-212，2001.，4) 佐藤京・他：地震情報伝達システム(WISE)を用いた地震動増幅度の検討，11JEES，643-646，2002.，5) 司宏俊・翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文報告集，第 523 号，63-70，1999.，6) 松田時彦：活断層から発生する地震の規模と周期について，地震，2.，28，269-283，1975.，7) 武村雅之：日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係，地震，第 2 輯，43，257-265，1990.，8) 佐藤良輔編著：日本の地震断層パラメータ・ハンドブック，鹿島出版会，1989.，9) 松岡昌志・翠川三郎：国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング，第 22 回地盤震動シンポジウム資料集，23-34，1994.，10) 翠川三郎・他：計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係，地域安全学会論文集，Vol.1，51-56，1999.，11) 土木学会：土木構造物の耐震基準等に関する提言「第三次提言」，<http://www.jsce.or.jp/committee/earth/propo3.html>

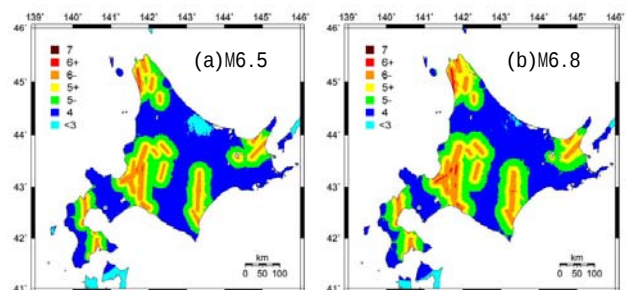


図-12 内陸活断層による地震を想定した地震危険度