



地震被害評価情報を活用した想定地震の対策優先度に関する研究

戸松 誠¹⁾、岡田 成幸²⁾

1) 正会員 北海道立総合研究機構北方建築総合研究所、 修士 (工学)

e-mail : tomatsu@hro.or.jp

2) 正会員 北海道大学大学院工学研究院、教授 工博

e-mail : okd@eng.hokudai.ac.jp

要 約

本研究は活断層による都市直下地震を対象に、36パターンの断層パラメータを設定して実施された複数の被害評価結果に基づき、自治体が最優先すべき想定地震を決定するための手法を提案するものである。防災対策項目を構造化し、防災対策を実施する自治体関係部局に対して、階層分析法 (AHP : Analytic Hierarchy Process) を応用し防災対策項目の重要度評価を行う。さらにこの重要度と複数の被害評価結果を用いて、複数の想定地震の優先度を求め、優先地震を決定する。

キーワード： 地震被害評価、直下地震、断層パラメータ、集団合意形成、AHP

1. はじめに

自治体の地震防災対策は、地震発生直後の応急対応としての短期的対策、施設の耐震化や配置計画などの災害防止・軽減につながる中期的対策や、災害に強い都市構造の構築など実現に相当年数を要する長期的対策があるが、共に想定地震による被害評価結果に基づき対策が実施される。地震被害評価を行うためには、想定地震を決め、過去の地震発生履歴や活断層調査結果などから強震動予測に必要とされる断層パラメータ (破壊開始点・アスペリティの位置等) を一意に決定する必要がある。想定地震は、地震学からの知見で絞り込まれるが、内陸直下地震については震源位置やアスペリティ情報 (個数、位置) 等々の断層パラメータに大きな不確実性が伴い、一意に決定できるものではない。地震ハザードの観点ではロジックツリーを用いて断層パラメータの不確実性が結果に与える影響を評価しその不確実性を低減する手法¹⁾が提案されており原子力発電所など、ある地点の地震動入力の問題となる場合に用いられている。しかし都市の被害評価において重要となるのは、地震動のみではなく被害分布つまり、都市域のどのような特徴を持つ地域に被害が発生するかということである。この被害分布は、特に都市直下地震の場合は断層パラメータに大きく依存し、よってその不確実性の故に行政が行う防災対策は、断層モデルに大きな影響を受けるのであり、断層や破壊開始点の位置といった断層パラメータを一意に絞り込んで被害評価し対策に繋げることの危うさが指摘されている²⁾。このようなことから複数のシナリオ地震の被害評価が実務段階でも行われ始めており^{3,4)}、想定震源のパラメータの選び方により被害量・被害分布共に大きく変わり、それに応じて対策内容も本来見直す必要がある。この問題認識の基に、想定地震ごとの被害分布の特異性に着目し、クラスター分析を応用して被害分布をパターン化し想定地震

の優先度を決定する手法⁵⁾が提案されており、この複数の被害評価結果をどのように扱うのかについての一つのアプローチが示されている。例えば災害に強い都市構造の構築など、被害の全体像を包含して考える必要がある長期的な対策では、このような手法が有効であろう。一方、短期・中期の対策では、限られた財源の中で具体的に発生が懸念される地震に対して優先的に対策を実施する必要があることから、別の観点が必要となる。すなわち実際に起こりうるシナリオ地震を想定し、その被害評価結果に基づき物資の備蓄、施設の配置、建物の耐震化の優先順位の決定などの対策シナリオを描き、発生が具体的に懸念される地震に対し優先的に対策を実施する必要がある。この場合、複数の被害評価結果から当該自治体にとって最も影響の大きい地震を選択することとなるが、この最も影響の大きい地震とは何かを定義することは、その都市の地理的条件・産業構造・長期的都市計画構想等々から、全国一律に定めるには困難性が伴う。例えば、ある一定震度以上の曝露人口などを用いて想定地震を絞り込み検討をする例³⁾があるが、これは「最も影響の大きい地震」は「被害量が最大の地震」に等しいという図式での決定方法である。しかし、その地域にとり、「最も影響の大きい地震」は「被害量が最大の地震」と言い切れるのであろうか。例えば中山間地域などは交通が脆弱性であるため集落孤立の危険性が高く、人口は少ないが防災上の問題が多いケースを見落とすこととなりかねない。また発生確率の観点から決定する場合もあるが、確率と被害量のどちらを優先させるかといった問題がある。このような問題の見落としをさけるために複数の被害評価を個別に議論するのは、想定地震が多くなるほど現実的ではなくなってくる。そもそも最初の検討すべき地震の候補にすらならない危険性がある。このように複数のシナリオ地震から想定地震を決定する本質的問題にまだ議論がつくせていないなど、問題が依然として多い。

従来の被害評価では、学識経験者などによる検討委員会が設置され専門家の意見を踏まえ想定地震が決定されている。しかし、この場合の専門家は防災や地震に関しては知見があるものの、行政組織や地域の抱える現場的課題については、十分な知見があるとは言いがたい。自治体の地震防災を考える場合、防災の専門家の知識と、行政や地域の課題について実情を把握している自治体の対策意思を反映させることが必要となる。対策の対象は主管する部局により異なり、防災を主管する部局（一般には総務系）は地域防災計画の取りまとめと関係部局との調整に終始する場合が多く、このことは実対策においては、防災担当部局以外の部局（例えば建設部局）においても、それぞれの権限と判断の中で防災対策を実施することを意味する。すなわち被害評価の結果は、防災主管部局のみならず、多くの部局でも活用できるものでなくてはならず、各部局が防災対策を実施する場合に必要とされる想定被害の主要項目は各部局によって異なることにも斟酌する必要がある。例えば建築部局では建物被害を重要視し、教育部局では教育施設被害を重要視する。また医療・福祉部局では人的被害の発生状況が重要視される。これは多価値論に基づく意思決定問題であり、想定を誤ると部局によっては対策関連被害を過小評価した被害発生パターンに対する対策に繋がり、地震発生時の対応を誤ることとなる。つまりここで重要なことは、このような被害項目・被害量・被害分布等の結果を各部局の総意として判断することが必要であり、その総合判断を行うための防災対策上の想定地震の優先度を定量的に評価する手法開発が必要である。

以上の現状認識を踏まえ、本研究は複数ある想定地震から、自治体が対策優先とすべき地震を、各対策部局が防災上重視する地域の被害量から決定する、対策重視の新たな手法の提案を行う。なお、本論は部局の総体としての集団合意形成問題を主題とするものであり、よって扱う対象地震は、「日本の活断層」や「地震調査研究推進本部」等において公表されている地震を用い、震源緒元が公表されていない伏在断層は扱わない。死者低減の観点から伏在断層を含めた想定被害地震の決定プロセスに関する研究は著者のうちの一人によって別途報告⁵⁾しているの、そちらを参照頂きたい。

本研究では、北海道北見市を対象とし断層パラメータを複数設定して実施した被害評価結果から、防災対策を実施する自治体関係部局にAHPを用いた意思決定手法を適用し、防災関連部局における防災対策項目の重要度を求め、この重要度と想定地震の発生確率及び、複数の被害評価結果から想定地震の優先度を求めることの防災上の意義を主張すると共に、想定地震が持つ防災対策上の位置づけを明らかにする手法の提案を目的とする。このことにより想定地震が地域に及ぼす影響を定量的に評価でき、従来見落とされてきた当該地域にとり「最も影響の大きい地震」とは何かを明らかにすることが可能となる。

対象とする北海道北見市は、平成18年に1市3町が合併し、被害をもたらす恐れのある断層の数が複数となった。また、現在の市役所は旧北見市の市役所であり、旧3町の役場は支所として行政機能をもっており、支所及び市役所内各部局の意思を総合化して想定地震を決定することが望まれる。

2. 優先度決定手法

2.1 優先度決定手法の概要

自治体における地震防災対策は、様々な被害項目やその被害の発生に応じて、関係部局が状況を判断し対策を実施していく。従来の被害評価はこの問題を十分に考慮せずに断層パラメータを決定し、その結果をもって防災対策を実施してきた。そのため評価被害が、その地域や各部局にとって影響の大きな地震が想定された結果であるのか否か、あるいはさらに大きな被害が予想されるのか否かなど、どの程度の危険性を持つものかは明らかとはなっていなかった。都市直下地震の場合、断層モデルに応じた多種多様な都市域内の想定被害分布が得られる²⁾。このことは、防災業務を実施する行政組織内部において、対策が困難な、言い換えれば優先度が高い地震が部局毎にそれぞれ異なっていることを示唆する。このことから、発生確率の異なる複数の地震が想定される場合や発生確率が同程度でも、当該自治体直下やごく近傍に内陸活断層が存在し、複数の被害評価結果により被害量・被害分布が地域によって異なる場合に優先度を決定する必要があることがわかる。

詳細は後述するが、北見市の場合、影響する内陸地震については断層パラメータにより36の地震パターンが想定される。それぞれのパターンごとに北見市に与える被害量・被害分布が異なり、その中から当該市にとって見逃してはならない対策最優先の地震を絞り込む必要がある。このような複数の想定地震から、その優先度を定量的に取り扱い優先地震を決定することは、複雑かつあいまいな状況下における人間の意思決定問題であり、そのための解決手法を提案するのが本研究の主テーマである。

自治体の防災担当職員が、どのような地域に被害が発生することを問題視しているかといった防災対策の重要度を定量化するための手法が岡田・他(2001)⁶⁾によって提案されており、不確定な状況や多様な評価基準における意思決定手法としてAHP (Analytic Hierarchy Process : 階層分析法)^{7) 8)}を用いることができる。AHPを用いて問題を解決するためには、まず問題の要素を「総合目的」-「評価基準」-「代替案」の関係でとらえ階層構造を作り上げ総合評価を行うが、上記⁶⁾の研究では「代替案」を用いていないことから想定地震を決定できない。また、AHPでは、最下層のレベルを評価基準として「代替案」同士を一対比較により相対評価するが、通常その評価は定性的な判断となる。一方本研究では、「代替案」である想定地震の被害想定結果を定量的に比較することを試みる。そして総合目的からみて評価基準の重要さを求め、次に各評価基準の重要度を評価し、最後にこれらを総合目的からみた代替案、ここでは地震被害評価のモデルの評価に換算することによって想定地震の優先度を評価する。地震被害評価には、木造住家被害や人的被害、道路被害などの複数の種類を検討し、自治体職員の防災対策実務の

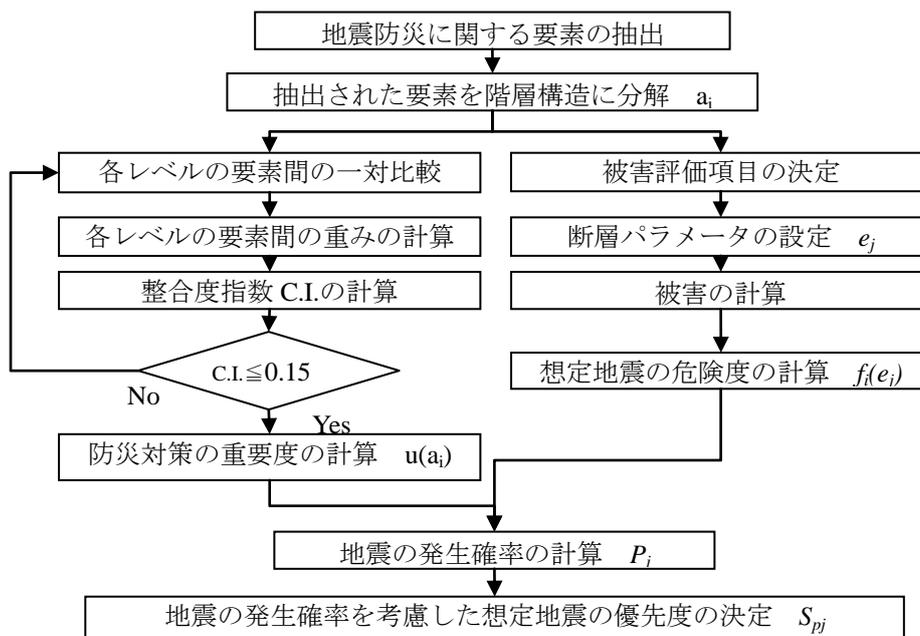


図1 優先度の決定フロー

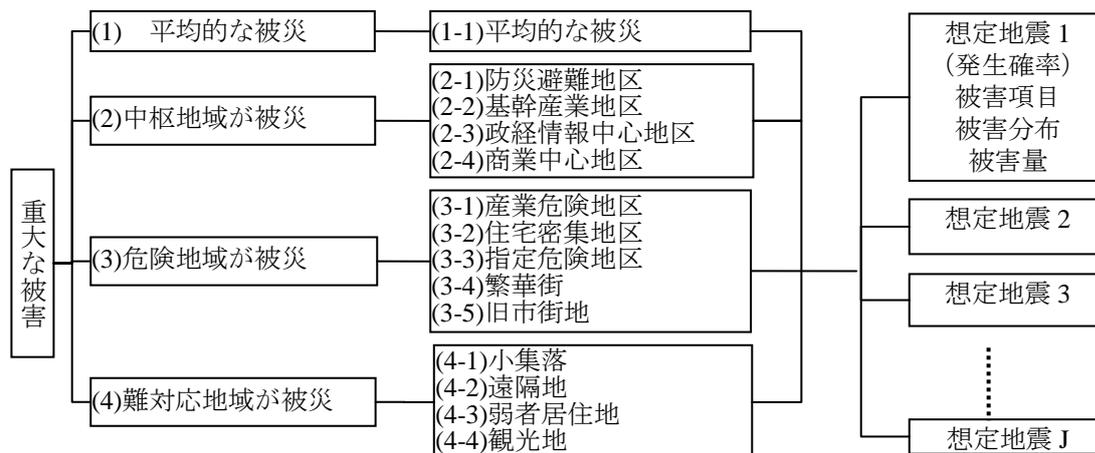
上から重要となる被害想定項目を扱う。さらに防災担当部局のみの意思ではなく、防災対策に関わる多くの部局の意思を評価する必要がある。また、複数の想定断層が考えられる場合発生確率の違いも考慮する必要がある。本研究ではこの点についても新たな提案を行う。AHP を使って問題を解決するには、地震被害がどのような地域に分布するかという点に着目し階層構造を作り上げる。そして防災対策部局に対して各階層の評価基準を一対比較して評価基準間の重みを計算することにより重要さを求め、複数のパターンによる地震被害評価の被害量と掛け合わせることで想定地震の対策優先度を評価する。評価のフローを図1に示す。

ここで、構築する階層構造や被害評価項目は北見市を例として構築するが、本論で提案の構築の考え方は北見市以外の全ての行政組織についても共通であり、具体的階層構造については行政組織と専門家が協議の上で構築していくものではあるが、提案の階層構造はかなり一般性を持って使えると思われる。

2.2 地震防災対策に係る階層構造の構築

優先度を決定するために、最初に地震防災対策に係る要素を抽出する。被害に関する要素として被害項目・被害量・被害分布などがある。ここでは被害が当該市域においてどのような特徴を持つ地域に発生するかという被害分布の観点から岡田・他(2001)の階層構造⁶⁾を参考に構築する。図2に設定した階層構造を示す。階層構造は、北見市の特徴である都市機能を中心とする都市部から農漁村集落及び観光客が多く宿泊する温泉施設までを併せ持つ点を反映させる。それらを表わす階層構造として「中枢地域」が主に都市機能に関係し、「難対応地域」が主に農漁村集落に関係する。「危険地域」は双方に関係する。

階層構造の一番上は1つの要素からなる総合目的（レベル1）であり、ここでは「重大な被害」とする。ここでは地震発生により、ある地域に大きな被害が発生し、人命に大きく影響を与え、なおかつ防災対策上困難な事態が予想される被害という観点で階層を構築する。



- (1) 市全域において被害が発生する場合
- (2) 中枢的機能が集まり、被害の発生により地域の防災機能や都市機能が大幅に低下する恐れのある地域に際だった被害が発生する場合
- (3) 危険性を内在し災害時に被害が大きく拡大する恐れのある地域に際だった被害が発生する場合
- (4) 行政対応がとりにくく、災害時の初動が遅れることにより被害が拡大する恐れのある地域に際だった被害が発生する場合
- (2-1) 防災・医療関係機関に被害が発生する場合
- (2-2) 工場など、地震災害時に人命を失う可能性が大きく、被害の発生により地域産業に大きな被害を与える産業が集積している地区に被害が発生する場合
- (2-3) 中心市街地に被害が発生する場合
- (2-4) 商業施設が集積している地域に被害が発生する場合
- (3-1) その施設が被害を受けた場合、出火・延焼・化学物質拡散などの広域的危険性が懸念される施設に被害が発生する場合
- (3-2) 住宅が密集し地震火災の発生時に火災の延焼の恐れのある地域に被害が発生する場合
- (3-3) 地すべり・かけ崩れ等危険区域などの災害危険箇所が、地震により建物・道路に被害を及ぼす場合
- (3-4) 出火危険が高く、不特定多数が利用している雑居ビルなどが多く存在する地域に被害が発生する場合
- (3-5) 道路が狭く老朽した木造住宅が多く存在し住宅の倒壊が多く発生する恐れのある地域に被害が発生する場合
- (4-1) 防災資機材が充分になく、また災害時に孤立する可能性が大きい地域に被害が発生する場合
- (4-2) 中心部から遠く離れており、交通の便が悪いなど地域の情報を収集しにくい地域に被害が発生する場合
- (4-3) 高齢者、外国人、転勤族、子供などが多い地区に被害が発生する場合
- (4-4) 観光客などの一時滞留者が多く滞り、災害直後に対応をとらなければならない地域に被害が発生する場合

図2 想定地震決定の階層構造

レベル2は、重大な被害の地域内分布状況を考える。地震発生時の初動期における対策として必要な情報は、「どこに」「どの程度」の被害が発生しているかを把握することである。ここでは、「どこに」被害が発生しているかという観点で「平均的な被災（地域全域が平均的に被災）」・「中枢地域が被災」・「危険地域が被災」・「難対応地域が被災」の4つの要素で評価する。

レベル3は、レベル2の地域を具体的に示したものである。「中枢地域が被災」については、北見市の特徴から「防災避難地区」・「基幹産業地区」・「政経情報中心地区」・「商業中心地区」を指定した。「危険地域が被災」については「産業危険地区」・「住宅密集地区」・「指定危険地区」・「繁華街」・「旧市街地」を選定した。「難対応地域が被災」については「小集落」・「遠隔地」・「弱者居住地」・「観光地」が相当する。

代替案とは想定地震であるが、一般的に AHP を適用する場合代替案を評価基準によって一対比較をするが、ここでは被害評価の結果から代替案の優先度を定量的に取り扱うこととする。

2.3 防災対策項目の重要度評価

各レベルの要素間の重要度を一対比較し防災対策項目である各要素の重み係数を求める。レベル2を例とする。図3に一対比較の質問形式を示す。回答に応じて表1に示す重要度の尺度からペア比較の値を1/9、1/7、…、7、9とし、一対比較行列を作成し、線形代数学の固有値問題として最大固有値 λ_{max} に対する正規化した固有ベクトル ${}_L W_{ij} = \{ {}_2 W_{1,1}, {}_2 W_{1,2}, \dots, {}_2 W_{1,m} \}^T$ を要素間の重みとして計算する。ここにLはレベルを意味し、今レベル2を例とするので、L=2である。iは前段レベル(L-1)の各要素番号であり、今の場合、前段レベル1の要素数は1なので、i=1となる。jは前段レベルの要素番号iの要素数であり、この場合、要素数は4であるのでm=4となる。

この一対比較行列は逆数行列であるが、回答者のペア比較において回答に矛盾が生じる。この矛盾の程度を示すのがコンシステンシー指数（Consistency Index；C.I.値）であり、回答に全く矛盾がないとき0となる。このC.I.値が0.15以下となるまで回答を修正する必要がある。

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (1)$$

レベル2における一対比較行列及び要素間の重み、及びC.I.値の例を表2に示す。

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
平均的な被災										中枢地域が被災
平均的な被災										危険地域が被災
平均的な被災										難対応地域が被災
中枢地域が被災										危険地域が被災
中枢地域が被災										難対応地域が被災
危険地域が被災										難対応地域が被災

図3 一対比較の質問形式(レベル2)

表1 重要性の尺度とその定義

重要性の尺度	定義
1	同程度
3	やや重要
5	かなり重要
7	非常に重要
9	極めて重要

このようにして各レベルの要素間の重みである ${}_L W_{ij}$ を求め、順次上位の重みとのベクトル積を求めることによりレベル3の各要素 a_i (iは要素番号)の重要度 $u(a_i)$ を表すベクトル u を式(2)により求め、対策重要度の重み係数とする。但し、レベル1は要素数が1であるので ${}_1 W_{1,1}=1.0$ となり、記載省略する。

表2 一対比較行列（レベル2）の計算例

		→ 比較対象				
		平均的	中樞的	危険	難対応	
比較主体 ↓	平均的被災	1	1	5	7	平均的被災
	中樞的地域	1	1	5	7	中樞的地域
	危険地域	1/5	1/5	1	5	危険地域
	難対応地域	1/7	1/7	1/5	1	難対応地域
		$\lambda_{\max}=4.208$ C.I.=0.069				
						重み W
						平均的被災
						中樞的地域
						危険地域
						難対応地域

$$\begin{aligned}
 \mathbf{u} &= [u(a_i)] = \{ {}_L W_{i,j} \cdot {}_{L-1} W_{i,j} \} \\
 &= \{ {}_3 W_{1,1} \cdot {}_2 W_{1,1}, \\
 &\quad {}_3 W_{2,1} \cdot {}_2 W_{1,2}, {}_3 W_{2,2} \cdot {}_2 W_{1,2}, \dots, {}_3 W_{2,4} \cdot {}_2 W_{1,2}, \\
 &\quad {}_3 W_{3,1} \cdot {}_2 W_{1,3}, {}_3 W_{3,2} \cdot {}_2 W_{1,3}, \dots, {}_3 W_{3,5} \cdot {}_2 W_{1,3}, \\
 &\quad {}_3 W_{4,1} \cdot {}_2 W_{1,4}, {}_3 W_{4,2} \cdot {}_2 W_{1,4}, \dots, {}_3 W_{4,4} \cdot {}_2 W_{1,4} \} \quad (2)
 \end{aligned}$$

2.4 被害評価項目

階層構造に対する代替案として被害評価結果を用いるが、重要な被害に関する要素を説明する被害評価項目(k)を決める。例えば評価基準(1)「平均的な被災」とは被害評価結果で言えば市全域に対する被害と読み替えて、「市全域における住家全破壊棟数」とすることができる。同様にレベル3の項目に対しても以下に示す被害評価結果に読み替える。ここで用いる被害評価の項目であるが、強震動(震度・PGV)・建物被害・人的被害・道路被害を主として用い、それらの地区分布からレベル3の被災地区を判断する。これらの項目は、通常自治体が行う被害評価に含まれるものである。

ここでは、北見市の特徴から、図2の階層構造を説明する被害評価項目を定義し表3に示す。被害評価項目の設定に当たっては北見市の関連部局の意見を参考に設定している。

表3 被害評価項目

階層構造	被害評価項目
平均的な被災(1)	市全域における住家全半壊棟数
防災避難地区が被災(2-1)	震度6弱以上に暴露される防災関係機関の施設数
基幹産業地区が被災(2-2)	工業・工業専用地域及び温泉街のホテル所在地区における非住家全半壊棟数
政経情報中心地区が被災(2-3)	中心市街地活性化基本計画の中心市街地における全建物全半壊棟数
商業中心地区が被災(2-4)	用途地域の商業・近商地域における全建物全半壊棟数
産業危険地区が被災(3-1)	危険物施設(屋外タンク貯蔵所)の存在する区画の住家全半壊棟数
住宅密集地区が被災(3-2)	建物棟数密度(住家+非住家)40棟/ha以上の区画の住家全半壊棟数
指定危険地区が被災(3-3)	建物・道路に被害を及ぼす地すべり・がけ崩れ等危険区域のある地域における、住家全半壊棟数・道路被害箇所数の評価点の平均
繁華街が被災(3-4)	繁華街のある区画における全建物全半壊棟数
旧市街地が被災(3-5)	昭和36年以前の老朽木造率が50%以上の地区の住家全半壊棟数
小集落が被災(4-1)	小集落の住家全半壊棟数
遠隔地が被災(4-2)	留辺蘂・常呂自治区における住家全半壊棟数
弱者居住지가被災(4-3)	従属人口指数80以上の地域の人的被害数(死者、重傷者、軽傷者)
観光地が被災(4-4)	震度6弱以上の揺れとなるホテル・旅館の施設数

2.5 優先度決定手法

内陸の活断層による地震動予測を行う場合、活断層調査等による調査結果から断層パラメータを推測する必要がある。しかしながら現状では、予測困難なパラメータがあることから、これらについては複

数のケースを想定し、防災上の観点からパラメータを決定することとなる。具体的に本研究では、断層の傾斜角・アスペリティ位置・破壊開始点を複数想定し、それぞれのモデルにおいて建築物等の被害評価を行う。このようにして行った複数の想定地震の危険度を求め、防災対策の重要度と掛け合わせることで、想定地震 j ごとの優先度を求め優先地震を決定する。

AHP を用いた意思決定では、レベル 3 の評価基準に対する各代替案（ここでは想定地震）同士の被害結果の一対比較を行い、想定地震の重みベクトルを求めることになる。ここでは、レベル 3 の評価基準を説明する被害評価項目の被害量の相対値を用い、各想定地震のレベル 3 の評価基準に対する危険度を表す重みベクトル f を求める。

レベル 3 の各評価基準 (i) を説明する被害評価項目 (k) における想定地震 j の被害量を (d_j^k) とすると、各想定地震の評価基準に対応する危険度 $f_i(e_j)$ （相対被害量： j 地震の想定断層パラメータ e_j を決定したことにより評価される相対被害量）は式(3)で表される。

$$f_i(e_j) = d_j^k / \sum_{j=1}^l d_j^k \quad (3)$$

ここに l は想定地震の総数である。このようにして、全てのレベル 3 の各評価基準 (i) に対する想定地震 j の危険度 $f_i(e_j)$ を求めることにより、想定地震の危険度を表す固有ベクトル f が式(4)で表される。

$$f = [f_i(e_j)] = \begin{bmatrix} f_1(e_1), & \dots & f_1(e_l) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_i(e_1), & \dots & f_i(e_l) \end{bmatrix} \quad (4)$$

このようにして想定地震の危険度を求め、想定地震の危険度 f と防災対策の重要度 u を掛け合わせ、想定地震の優先度 S が式(5)により計算される。

$$S = f \cdot u = [f_i(e_j)]^T [u(a_i)] \quad (5)$$

ここでは、想定地震の発生確率が同じという条件で計算をしている。しかしながら断層によってその発生確率は異なり、確率の高い地震ほど対策の重要度が大きくなる。想定地震 j の地震発生確率を P_j とする。想定地震の優先度 S_j に関して $\sum S_j = 1$ がなりたっている。この想定評価点を地震発生確率 P_j に応じて比例配分をすることで、地震発生確率に応じた優先度 S_{pj} を式(6)により求める。

$$S_{pj} = \frac{f_i(e_j) \cdot P_j}{\sum_{k=1}^n f_i(e_k) \cdot P_k} \quad (6)$$

3. 北見市におけるケーススタディ

3.1 北海道北見市の概要

北見市は網走管内のほぼ中央に位置した人口 13 万人弱を擁するオホーツク圏の中心都市である。平成 18 年に、北見市・端野（たんの）町・常呂（ところ）町・留辺蘂（るべしべ）町の 1 市 3 町の合併により現在の市域となった。旧役所・役場の行政区域はそれぞれ旧市町の名前を冠した自治区として残されており、現在の市役所以外の 3 町の役場はそれぞれ総合支所となっている。

本研究で対象とするのは主に震動被害とし、地震動も内陸型地震を考える。全国を概観した強震動予測地図⁹⁾によれば北見市に対して今後 50 年間に於いて 2% の確率で予測される震度は、5 強程度であり重大な被害をもたらすものではない。一方、北見市に直接影響を与える内陸地震は、「日本の活断層[新編]（分布図と資料）（活断層研究会編）」¹⁰⁾及び地震調査研究推進本部の双方で想定されている「常呂川東岸断層帯」と「日本の活断層」のみに記述されている「相内北西リニアメント」が考えられることから、この 2 つの断層を北見市の想定地震とする。図 4 に北見市の位置を、図 5 に想定断層の位置を示す。

A. 常呂川東岸断層帯—長さ：10km 活動度：B 走向：北北東

常呂川に沿うリニアメントとしては明瞭であるが、断層変位地形は認められないことから、确实度Ⅱ（活断層であると推定されるもの）～Ⅲ（活断層の疑いのあるリニアメント）としている。

B. 相内北西リニアメントー長さ：9km 活動度：不明 走向：北北東

侵食地形であるものと考えられるが、多少とも活断層の可能性があり、确实度Ⅲとしている。

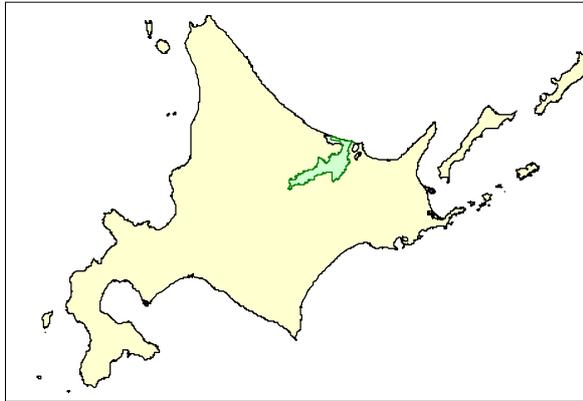


図4 北見市の位置

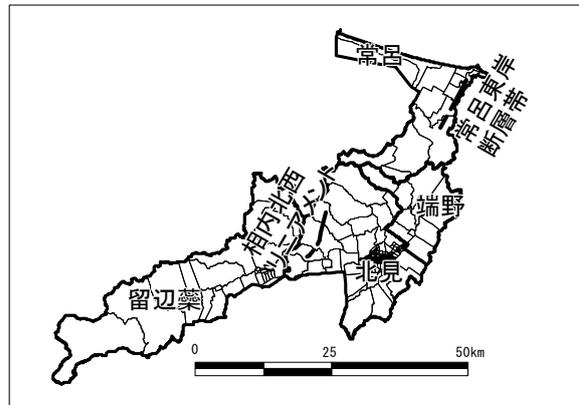


図5 断層位置

3.2 北見市における防災対策項目の重要度

図2に示した防災対策項目の一対比較を、図6に示す北見市の防災対策に関連する11部局に対して実施した。この11部局は北見市地域防災計画¹¹⁾において震度4以上で警戒配備となる部局及び防災対策・危機管理室へのヒアリングにより選定している。この一対比較調査の目的は、部局ごとに重要視する対策項目を知ることにより、式(2)の対策重要度の重み係数 u を算出することにある。調査は、11部局個別に実施し直接面接し、評価基準とそれを表す被害評価項目の図を示しながら同じ部局の職員間で相談してもらい、その部局として一つの回答をしてもらった。その時他の部局の意見で回答が変わることがないように配慮した。回答に矛盾があった場合には、その場で回答を修正してもらった。図6にこのようにして求められた各部局の対策重要度 u を示す。各部局によって重要度が大きく異なっている。また各部局の主管業務に関する評価基準の重要度が高くなる傾向が見られる。ここでは特徴的な結果となった部局の重要度について考察をする。「総務部防災対策・危機管理室」では平均的被災、防災避難地区の重要

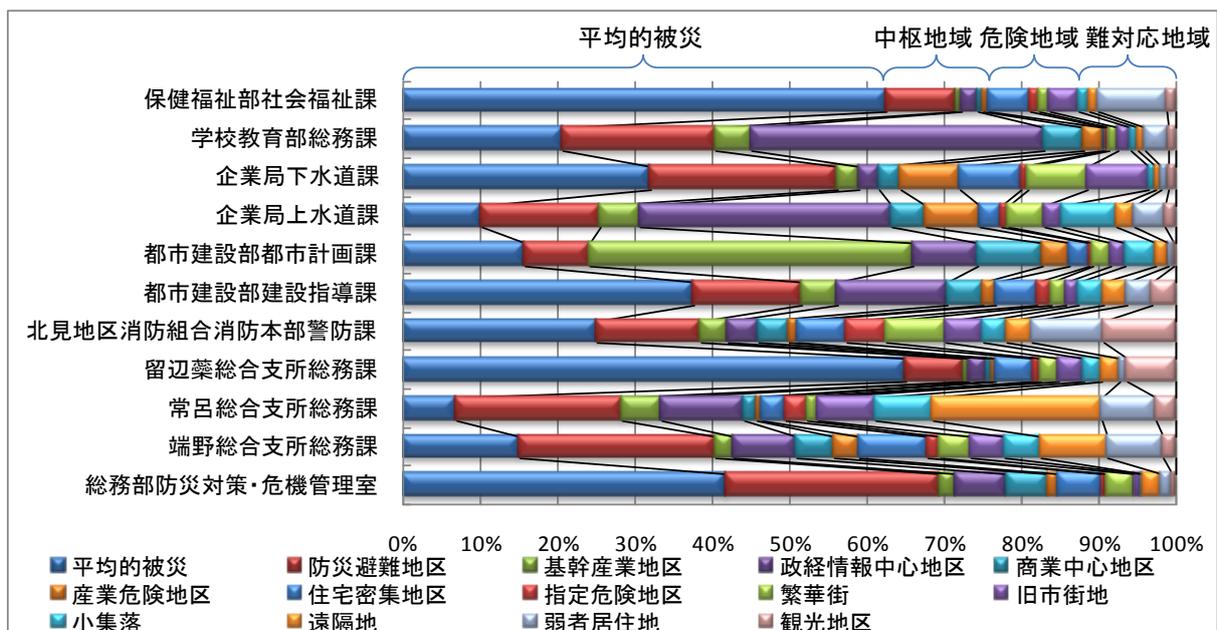


図6 防災関連部局の対策重要度

度が高くなっており、同室が全市的な対策を担っていること、また防災対策の中心となる地区を重要視する必要性のあることからして妥当な結果と思われる反面、難対応地域全般の重要度が他の部局と比べても極めて低いのは問題点として指摘できる。これは調査時の防災部局の職員は全員旧北見市の職員であることから難対応地域の多くを占めるとされる各自治区の防災上の課題を十分に認識できていない可能性が考えられる。常呂及び端野総合支所では難対応地域の重要度が高く、特に常呂総合支所では、中心部から遠く離れていることから遠隔地の重要度が高い。消防本部は重要度のばらつきが小さく全ての階層をバランスよく評価している。消防本部はどのような状況においても防災対策に関与する必要があり、このような傾向になったと思われる。一方都市機能に関する都市計画課や企業局などでは、中枢地域の重要度が高くなっており都市機能に対する対策を重要視していることは、当該部局の業務の上からも納得できる。社会福祉課では、平均的被災の重要度が最も高いものの、医療に関する防災避難地区や、災害弱者居住地区が2位・3位となっている。これらの評価結果について、調査時に重要度をその場で計算し示したところ、各部局の防災上の問題となる項目のイメージと合致していることを確認した。

全般的に各部局とも自らが実施する業務と関係が深い項目の優先度が高くなる傾向があり、本調査の目的を十分に達成している。これは、AHPの調査の実施にあたり複数の回答者で相談をしてもらうと共に後述する被害評価項目を示しながら被害をイメージしてもらいながら回答を得たことも一因と考えられる。調査に当たりそのようなツールの提案も同時に重要であることを教示している。

3.3 断層パラメータの不確定性を考慮した被害評価

3.3.1 地表面地震動の算定

工学的基盤面 (Vs600m/sec 相当層) における地震動予測手法 EMPR¹²⁾を用いて、工学的基盤面における地震動波形を算出する。EMPRとは、既往の観測記録に基づきスペクトル強度や波形の時間特性の回帰モデルを作成し、想定断層の3次元的広がりや断層破壊方向と着目点との関係などを考慮して波形を算定する方法であり、断層の広がりやアスペリティ分布、断層の破壊開始点を考慮できる手法である。

工学的基盤面における地震動波形を算出するために必要な断層モデルを、既存の資料の結果から地震調査研究推進本部 (以下、「推本」という) による「活断層で発生する地震の強震動評価のレシピ⁴⁾ (以下「レシピ」という)」を用いて計算し、想定しうる複数のモデルを設定する。

北見市における想定活断層は図5に示すとおりであるが、断層モデルについては、現時点では不明な点が多く、断層モデルには仮定を多く含まざるを得ない。常呂川東岸断層帯の規模については、「全国を概観した強震動予測地図」を参考にM_j6.5とし断層の巨視的パラメータを設定する。相内北西リニアメントについてはM_jを同規模として設定する。このM_jからレシピに基づき断層パラメータを設定する。このうち、強震動計算に用いる断層パラメータの中で、決めることのできないものに、傾斜角・破壊開始点・アスペリティの位置がある。ここでは、これらのパラメータについては北見市地震対策専門委員会の意見を参考に複数のモデルを用いる。リニアメントの傾斜角は不明であり、ここでは、45度 (東傾斜)、90度、135度 (西傾斜) の3ケースを設定する。アスペリティの配置及び面積は断層面を分割した連続した2小

表4 アスペリティの位置・破壊開始点

地震コード				破壊開始点	アスペリティ
T-1	L1-1	L2-1	L3-1		
T-1	L1-1	L2-1	L3-1	1,1	05-08
T-2	L1-2	L2-2	L3-2		11-12
T-3	L1-3	L2-3	L3-3	1,3	05-08
T-4	L1-4	L2-4	L3-4		10-11
T-5	L1-5	L2-5	L3-5	3,2	05-08
T-6	L1-6	L2-6	L3-6	5,1	05-06
T-7	L1-7	L2-7	L3-7		05-08
T-8	L1-8	L2-8	L3-8	5,3	04-05
T-9	L1-9	L2-9	L3-9		05-08

表5 断層パラメータ

	T	L1	L2	L3
位置	北緯：44.104° 東経 144.075°		北緯：43.883° 東経：143.753°	
走向角	208.6°		190.9°	
傾斜角	90°	45°	90°	135°
共通				
M _j ：6.5、上端深さ：3km、断層長さ 17km、断層幅 10km、地震モーメント：2.11e+25(dyn・cm) 断層分割数：5×3、背景領域の小断層とアスペリティとなる小断層の地震モーメントの比率：1:2.88 破壊伝搬速度：2.52km/s 地震波伝搬速度：3.5km/s				

T グループ：常呂川東岸断層帯、30年発生確率 P_j：0.93(%)

L1、L2、L3グループ：相内北西リニアメント、 P_j ：0.13(%)

領域分とする。設定した常呂川東岸断層帯及び相内北西リニアメントの断層モデルを図7、8に、EMPRに用いる断層パラメータの組み合わせを表4、5に示す。なお、岡田・戸松(2000)²⁾において、パラメータの動かし得る定義域を定め被害分布のばらつきのシミュレーションを行っている。本論ではその結果をよりどこに断層パラメータのシミュレーション範囲を設定している。また、防災科学技術研究所の「J-SHIS」におけるパラメータの設定方法と同様に、アスペリティの配置と破壊開始点を複数設定する。北見市のケースでは専門家による北見市地震対策専門委員会によってパラメータを決定しているが、このような専門委員会がない場合は「レシピ」等を参考にすることとなる。以上により、北見市に影響する内陸地震は36パターンとなった。なお、常呂川東岸断層帯については傾斜角90度のみとした。

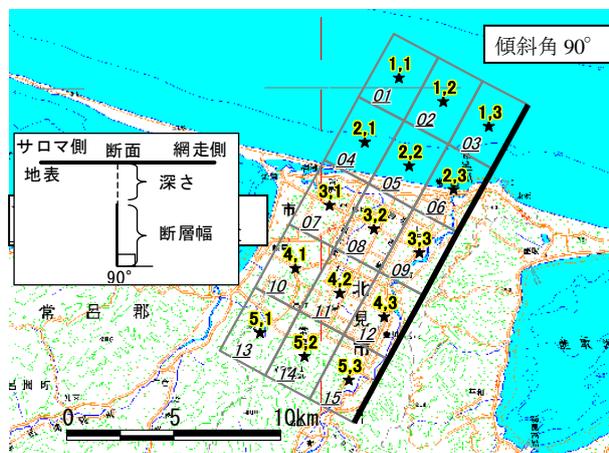
地震の発生確率であるが、確率の計算方法は地震調査研究推進本部による長期的な地震発生確率の評価手法¹³⁾を用いる。伏在断層や推本で検討されていない断層などのケースでは発生確率には不確定な面も多いが、ここでは、より発生しやすいものを優先するリスクマネジメントの考え方と同様にポアソン過程を用いる¹⁴⁾。ここでは、発生確率 P_j はポアソン過程によるものとし、30年発生確率を計算する。

工学的基盤面における最大速度を求めた後に、松岡・翠川(1994)¹⁵⁾による表層地盤の速度増幅度の関係式を用いて、地盤の速度の増幅度を求める。

地表から地下30mまでの推定平均S波速度(AVS30)は、藤本・翠川(2003)¹⁶⁾による微地形区分との関係式により求めたAVS30とボーリングデータから求めたAVS30に対して、空間的に平滑化処理を行い250mメッシュ単位で求めた。平滑化の方法はIDW(重みつき逆距離補完法)を用い、平滑化を行う半径は500mとする。微地形区分は、防災科学技術研究所による地震ハザードステーションの1kmメッシュ単位による増幅率のデータベースを基本に、20万分の1数値地質図幅集(産総研)及び20万分の1土地分類基本調査(旧経済企画庁)を参考に250mメッシュ単位で評価を行った。また、北見市内のボーリングデータとして、「網走支庁管内の地質と地下資源」(北海道立地質研究所・網走支庁農業振興部)を用い、ボーリングデータからAVS30を求める方法として、内閣府による地震防災マップ作成技術資料の方法¹⁷⁾を用いた。次に工学的基盤面速度に増幅度を乗じて地表面最大速度PGV(m/sec)を計算した。次に地表面最大速度PGV(m/sec)から翠川・他(1999)¹⁸⁾による計測震度と地表面における最大速度の関係式により震度を計算した。

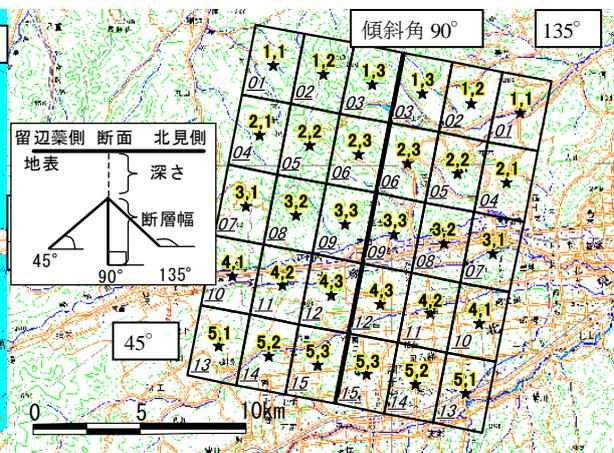
3.3.2 被害評価手法

木造建物被害及び木造建物による死者数は、死者数の予測精度を向上させることができる田畑・岡田等(2006)¹⁹⁾(2007)²⁰⁾の方法を用いる。非木造被害及び非木造による死者数は、阪神・淡路大震災や2000年鳥取県西部地震の被害結果に基づき作成された建築年代別に被害を評価することができる中央防災会議(2006)における積雪・寒冷を考慮した場合の冬季の被害率関数を用いる²¹⁾。建物の被害評価は建物データを町丁目字界単位で整理して行うことから、250mメッシュ単位で予測した地震動を町丁目字界単位に変換する。変換の方法は、国土地理院発行の数値地図25000(地図画像)から建物の凡例のあるメ



国土地理院発行の数値地図200000(地図画像)『日本-I』

図7 常呂川東岸断層帯



国土地理院発行の数値地図200000(地図画像)『日本-I』

図8 相内北西リニアメント断層モデル

メッシュを町丁目字界で分割し、町丁目字界内におけるメッシュごとの震度を分割されたメッシュの面積に応じて平均値を計算することによって求める。建築物データについては、固定資産税台帳(平成 18 年 1 月)及び公営住宅データを基に、構造別、建築年代別の住家データを町丁目字界単位で集計した。

負傷者数・重傷者数の評価手法は、阪神・淡路大震災における建物被害率と負傷者率との関係及び負傷者に占める重傷者の割合(重傷者比率)を用いた大阪府の手法²²⁾を適用する。人口データについては、北見市住民基本台帳(平成 18 年 3 月)における人口データを基に、町丁目字界単位で集計した。

道路被害は、車両の通行不能となる被害率を求める埼玉県防災会議²³⁾の方法を用いて、道路区間の被害率(箇所/km)から町丁目字界毎に集計した被害箇所数を算定する。地盤種別データは微地形区分を用い青森県²⁴⁾や内閣府¹⁷⁾の地盤種別と地形分類の関係を参考として定めた。道路データについては北海道地図株式会社による GISMAP25000V を用いた。

被害評価の精度は手法によって異なるが、本論で問題とする自治体の防災対策のあり方を決定づけるのに際し重要なのは、評価被害の絶対量よりもどの地域に被害が分布するか(地域内分布格差)である²⁾。よって、本論の被害評価の方法は、計算の容易な手法を用いている。

3.3.3 被害評価結果

表6に最大震度と被害評価結果及びレベル3の評価基準を説明する被害評価項目の被害量(d^k)を示す。

(1)震度

常呂川東岸断層帯においては、破壊開始点が深く、アスペリティが中央から浅いモデルである T-1、T-2、T-5、T-6、T-7 で震度 6 強となっている。相内北西リニアメントでは、一部のモデルで震度 6 強が発生する。L1 では留辺蘂側に、L3 では北見側に震度 6 弱の領域が多くなる。

(2)建物被害

常呂川東岸断層帯においては、常呂地区に被害の大半が発生している。住家全半壊棟数の最大被害は T-6 で 220 棟、最小被害は T-8 で 53 棟である。相内北西リニアメントでは、傾斜角が 45° のケースでは、北見・留辺蘂に被害が発生し、最大被害は L1-5 で 479 棟、最小被害は L1-8 で 101 棟である。傾斜角が 90° のケースでは、北見・留辺蘂に被害が発生し、最大被害は L2-5 で 601 棟、最小被害は L2-8 で 116 棟である。傾斜角が 135° のケースでは、北見・留辺蘂に被害が発生している。若干であるが端野でも被害が発生し、最大被害は L3-5 で 776 棟、最小被害は L3-4 で 423 棟である。全想定地震の最大被害棟数と最小被害棟数では約 15 倍の差がある。

(3)人的被害

常呂川東岸断層帯においては、人的被害は常呂でその発生の多数を占めるが、端野においても若干発生する。全人的被害の最大被害は T-6 で 58 人、最小被害は T-4 で 12 人である。相内北西リニアメントでは、傾斜角が 45° のケースでは、北見・留辺蘂に被害が発生し、最大被害は L1-5 で 98 人、最小被害は L1-8 で 15 人である。傾斜角が 90° のケースでは、最大被害は L2-5 で 117 人、最小被害は L2-8 で 19 人である。傾斜角が 135° のケースでは、北見に被害が集中し、最大被害は L3-5 で 186 人、最小被害は L3-4 で 80 人である。全想定地震の最大人的被害数と最小人的被害数では約 16 倍の差がある。

(4)道路被害

常呂川東岸断層帯においては、留辺蘂を除く地域で道路被害が発生する。また断層モデルの違いによる被害量であるが建物被害等と比べるとその差は小さい。最大被害は T-1、T-2 で 67 箇所、最小被害は T-9 で 34 箇所である。相内北西リニアメントでは、全てのケースにおいて全市的に被害が発生している。傾斜角が 45° のケースでは、最大被害は L1-5 で 94 箇所、最小被害は L1-8 で 62 箇所である。傾斜角が 90° のケースでは、最大被害は L2-5 で 95 箇所、最小被害は L2-3 で 71 箇所である。傾斜角が 135° のケースでは、最大被害は L3-5 で 110 箇所人、最小被害は L3-4 で 82 箇所である。全想定地震の最大道路被害数と最小道路被害では約 3 倍の差がある。

(5)被害項目別重要地震

表 6 から各評価項目の被害評価項目が 1 位となった地震を抜き出し表 7 に示す。

平均的被災及び中枢地域の被災では L3-5 が 1 位である。L3-5 は住家全半壊棟数及び人的被害数も最大である。一方危険地域の被災及び難対応地域の被災ではそれ以外の地震コードが 1 位である。

このように直下地震では、断層モデルによって被害の分布や発生量が大きく異なることがわかる。防

災対策を実施するためには、これらのばらつきを定量的に取り扱い各断層モデルの影響度を、言い換えるならば対策の優先度を評価することが必要であることがわかる。

表 7 各被害評価項目における被害量が1位となった地震

被害評価項目		地震コード	被害評価項目		地震コード
平均的被災		L3-5	危険地域	産業危険	T-6
中枢地域	防災避難	T-1,T-2,T-3,T-5,T-6,T-7,T-8, T-9,L1-1,L1-2,L1-3,L1-4, L1-5,L3-5		住宅密集	L3-5
				指定危険	T-6
				繁華街	L3-5
			難対応地域	旧市街地	L3-7
小集落	T-2				
遠隔地	T-6				
弱者居住地	L1-1				
			観光地	T-1,T-2,T-5,L3-5	

3.4 想定地震の優先度

表 8 に評価対象とした各部局の内一例として、総務部防災対策危機管理室防災対策危機管理課における想定地震の優先度(S_{pj})及び相対評価点($f_i(e_j)$)の一覧を、図 9 に同様に計算した各部局の想定地震の優先度(発生確率を考慮した優先度)を示す。

図 9 によれば、概ね常呂川東岸断層帯(Tグループ)の優先度が高くなっている。これは、発生確率が他のモデルに比べて高いことから妥当な結果であろう。一方各部局ごとには違いが見て取れる。防災対策危機管理課では、T-6(住家全半壊棟数全体順位 20 位:住家全半壊棟数全体グループ内順位 1 位)(括弧内の数字は以下同じ)の優先度が高い。これは、発生確率が高く住家全半壊棟数もグループで最大であることから理解しやすい。また多くの部局でも T-6 の優先度が最も高くなっている。しかしながら警防課(消防部局)においては、T-6 の優先度は 4 番目であり、T-1 (21 位:2 位)・T-5 (22 位:3 位)・T-2 (31 位:5 位)の優先度が高くなっている。この原因として考えられるのは被害分布パターンの違いが考えられる。

図 10 に T-1 と T-6 の震度分布と住家全半壊棟数を示す。これによると T-1 は、ディレクティブティの

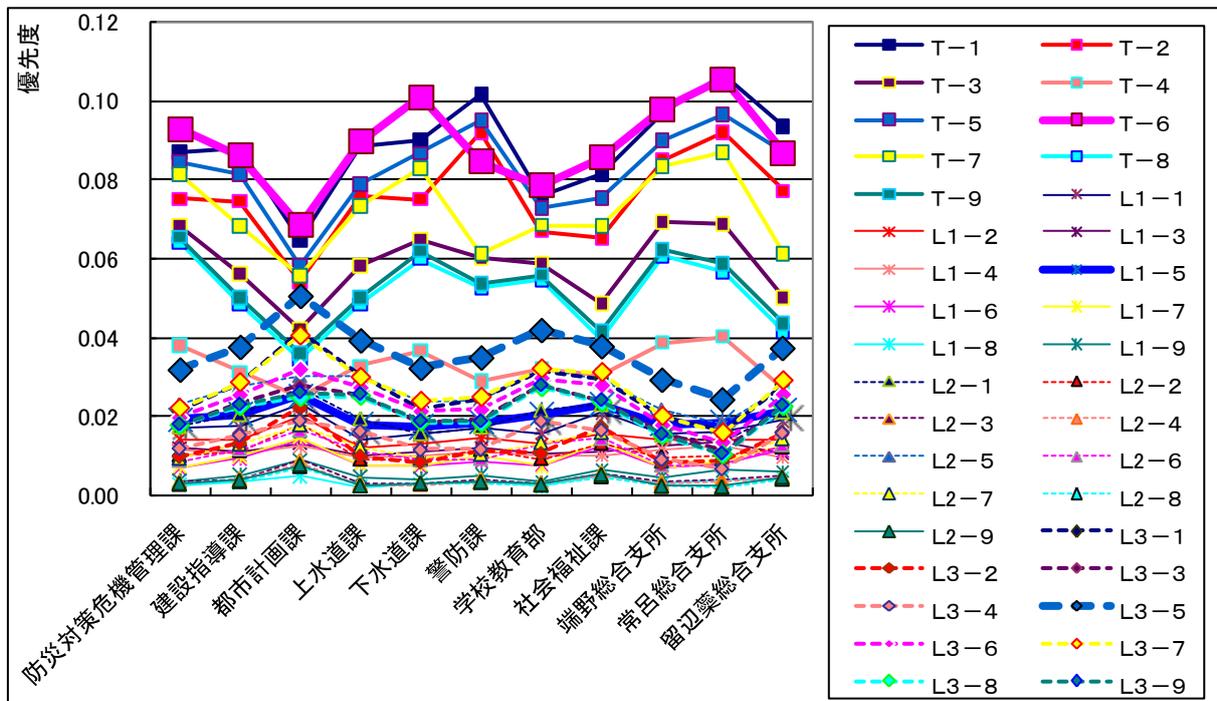


図 9 想定地震の優先度

表 6 重要な被害に関する要素となる被害評価項目の被害量(d_k)

評価項目	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	L1-1	L1-2	L1-3	L1-4	L1-5	L1-6	L1-7	L1-8	L1-9			
最大震度	6.2	6.2	5.9	5.8	6.2	6.4	6.3	6.0	6.1	6.0	6.1	5.8	5.6	5.9	5.9	5.8	5.6	5.6			
人的被害数	47	31	18	12	42	58	41	15	18	89	58	35	29	98	57	59	15	20			
道路被害箇所数	67	67	48	46	48	37	36	35	34	78	75	69	72	94	88	90	62	65			
平均的被災(住家全半壊)	180	110	78	64	166	220	159	53	62	433	272	160	140	479	305	319	101	138			
中枢地域	防災避難	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0		
	基幹産業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	26	13	12	28	19	19	6	12		
	政経情報	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	16	7	4	0	0		
	商業中心	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160	140	91	75	156	75	73	44	66		
危険地域	産業危険	132	61	53	40	127	196	127	41	49	23	23	0	0	27	23	23	0	17		
	住宅密集	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
	指定危険	住宅等	99	41	34	34	95	165	95	33	33	58	27	23	20	62	60	58	8	17	
		道路	13	12	10	9	11	8	7	8	7	11	10	11	14	15	15	14	9	10	
	繁華街	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	旧市街地	0	2	0	0	0	0	0	0	0	7	5	7	3	10	11	11	7	7		
	小集落	18	20	9	5	9	9	9	3	3	13	13	13	13	13	9	13	0	13		
難対応地域	遠隔地	180	107	78	64	166	220	159	53	62	124	109	121	107	153	75	81	65	81		
	弱者居住地	10	10	5	4	8	6	8	2	2	33	29	18	15	28	18	19	9	11		
	観光地	5	5	2	0	5	2	0	2	2	2	2	2	2	2	0	1	0	0		
		L2-1	L2-2	L2-3	L2-4	L2-5	L2-6	L2-7	L2-8	L2-9	L3-1	L3-2	L3-3	L3-4	L3-5	L3-6	L3-7	L3-8	L3-9	合計Σd	
最大震度	5.9	6.0	5.6	5.4	5.8	5.8	5.8	5.4	5.5	6.0	6.0	5.7	5.6	5.9	6.0	5.9	5.7	5.8			
人的被害数	104	52	25	20	117	69	75	19	22	137	91	110	80	186	121	139	103	119			
道路被害箇所数	81	80	71	73	95	91	91	73	76	90	89	85	82	110	94	96	93	96			
平均的被災(住家全半壊)	522	267	131	126	601	350	384	116	134	665	451	534	423	776	613	696	542	550		11,315	
中枢地域	防災避難	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	32	
	基幹産業	33	26	15	14	25	21	21	12	13	52	35	28	20	59	33	49	21	23	659	
	政経情報	28	0	0	0	57	21	20	0	0	58	8	59	38	63	58	58	58	59	616	
	商業中心	170	117	68	66	179	106	109	58	60	279	125	183	128	287	226	281	155	158	3,636	
危険地域	産業危険	28	23	17	16	33	32	32	21	21	69	23	32	23	89	41	82	45	46	1,636	
	住宅密集	2	0	0	0	6	1	1	0	0	6	0	6	2	7	6	6	6	6	58	
	指定危険	住宅等	70	21	8	8	70	56	66	25	28	82	59	59	45	95	72	72	61	62	1,919
		道路	11	12	10	12	15	14	14	12	12	13	14	12	12	18	14	14	15	16	435
	繁華街	5	0	0	0	17	0	0	0	0	17	0	18	10	20	18	18	18	18	161	
	旧市街地	4	2	2	0	13	11	11	2	2	9	2	6	4	12	16	16	7	7	199	
	小集落	13	13	0	0	13	0	9	0	0	13	13	0	0	16	2	2	2	2	282	
難対応地域	遠隔地	77	77	61	60	87	54	69	12	13	76	76	26	13	80	28	58	0	0	2,873	
	弱者居住地	28	25	13	9	23	16	19	7	7	29	26	14	8	32	25	30	10	14	567	
	観光地	1	2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	5	0	1	0	0	47	

表8 想定地震の優先度と相対評価点（総務部防災対策危機管理室防災対策危機管理課） $f_i(e_j)$

評価項目	重要度	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	L1-1	L1-2	L1-3	L1-4	L1-5	L1-6	L1-7	L1-8	L1-9	
平均的被災	0.4169	0.016	0.010	0.007	0.006	0.015	0.019	0.014	0.005	0.005	0.038	0.024	0.014	0.012	0.042	0.027	0.028	0.009	0.012	
中枢地域	防災避難	0.063	0.063	0.031	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	基幹産業	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.039	0.019	0.019	0.042	0.029	0.029	0.009	0.018	0.003
	政経情報	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.026	0.011	0.007	0.000	0.000	0.000
	商業中心	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.039	0.025	0.021	0.043	0.021	0.020	0.012	0.018	0.004
危険地域	産業危険	0.080	0.037	0.032	0.025	0.077	0.120	0.077	0.025	0.030	0.014	0.014	0.000	0.000	0.017	0.014	0.014	0.000	0.010	0.000
	住宅密集	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.014	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
	指定危険	0.041	0.025	0.021	0.020	0.037	0.052	0.033	0.018	0.017	0.028	0.019	0.019	0.021	0.034	0.032	0.032	0.012	0.016	0.012
	繁華街	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000
難対応地域	旧市街地	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.027	0.033	0.015	0.052	0.054	0.054	0.036	0.036	0.036
	小集落	0.063	0.071	0.033	0.018	0.034	0.033	0.034	0.010	0.010	0.046	0.046	0.046	0.046	0.034	0.045	0.000	0.045	0.003	
	遠隔地	0.063	0.037	0.027	0.022	0.058	0.077	0.055	0.019	0.021	0.043	0.038	0.042	0.037	0.053	0.026	0.028	0.023	0.028	0.005
	弱者居住地	0.017	0.017	0.009	0.007	0.013	0.010	0.014	0.003	0.004	0.058	0.051	0.032	0.026	0.049	0.031	0.034	0.016	0.019	0.004
観光地	0.106	0.106	0.043	0.000	0.106	0.043	0.000	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	
総合評価		0.028	0.024	0.022	0.012	0.027	0.030	0.026	0.021	0.021	0.040	0.033	0.027	0.026	0.044	0.016	0.016	0.006	0.008	
発生確率を考慮した優先度		0.087	0.075	0.068	0.038	0.084	0.093	0.081	0.064	0.066	0.017	0.014	0.012	0.011	0.019	0.007	0.007	0.002	0.003	
		L2-1	L2-2	L2-3	L2-4	L2-5	L2-6	L2-7	L2-8	L2-9	L3-1	L3-2	L3-3	L3-4	L3-5	L3-6	L3-7	L3-8	L3-9	
平均的被災		0.046	0.024	0.012	0.011	0.053	0.031	0.034	0.010	0.012	0.059	0.040	0.047	0.037	0.069	0.054	0.061	0.048	0.049	
中枢地域	防災避難		0.031	0.000	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.063	0.000	0.000	0.000	0.000	
	基幹産業		0.039	0.023	0.021	0.037	0.032	0.033	0.018	0.019	0.079	0.053	0.042	0.030	0.090	0.050	0.074	0.031	0.035	0.038
	政経情報		0.000	0.000	0.000	0.093	0.034	0.033	0.000	0.000	0.093	0.013	0.096	0.061	0.102	0.094	0.094	0.095	0.096	0.108
	商業中心		0.032	0.019	0.018	0.049	0.029	0.030	0.016	0.017	0.077	0.034	0.050	0.035	0.079	0.062	0.077	0.043	0.043	0.032
危険地域	産業危険		0.014	0.011	0.010	0.020	0.020	0.020	0.013	0.013	0.042	0.014	0.019	0.014	0.054	0.025	0.050	0.028	0.028	0.019
	住宅密集		0.000	0.000	0.000	0.108	0.014	0.014	0.000	0.000	0.108	0.001	0.111	0.038	0.115	0.109	0.109	0.110	0.110	0.100
	指定危険		0.019	0.013	0.015	0.035	0.030	0.033	0.021	0.021	0.037	0.032	0.029	0.026	0.045	0.034	0.035	0.033	0.034	0.041
	繁華街		0.000	0.000	0.000	0.108	0.002	0.002	0.000	0.000	0.108	0.002	0.113	0.064	0.122	0.109	0.110	0.110	0.110	0.081
難対応地域	旧市街地		0.012	0.012	0.000	0.068	0.054	0.054	0.012	0.012	0.046	0.012	0.028	0.022	0.063	0.080	0.080	0.038	0.038	0.028
	小集落		0.045	0.000	0.000	0.045	0.000	0.034	0.000	0.000	0.045	0.045	0.000	0.000	0.055	0.007	0.007	0.007	0.007	0.001
	遠隔地		0.027	0.021	0.021	0.030	0.019	0.024	0.004	0.005	0.026	0.026	0.009	0.005	0.028	0.010	0.020	0.000	0.000	0.000
	弱者居住地		0.044	0.023	0.015	0.040	0.029	0.033	0.012	0.012	0.051	0.047	0.025	0.014	0.056	0.045	0.053	0.017	0.025	0.015
観光地		0.043	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.021	0.021	0.000	0.106	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	
総合評価		0.040	0.023	0.007	0.007	0.053	0.020	0.021	0.006	0.007	0.049	0.022	0.041	0.027	0.073	0.045	0.050	0.040	0.041	
発生確率を考慮した優先度		0.017	0.010	0.003	0.003	0.023	0.009	0.009	0.003	0.003	0.021	0.010	0.018	0.012	0.032	0.020	0.022	0.018	0.018	

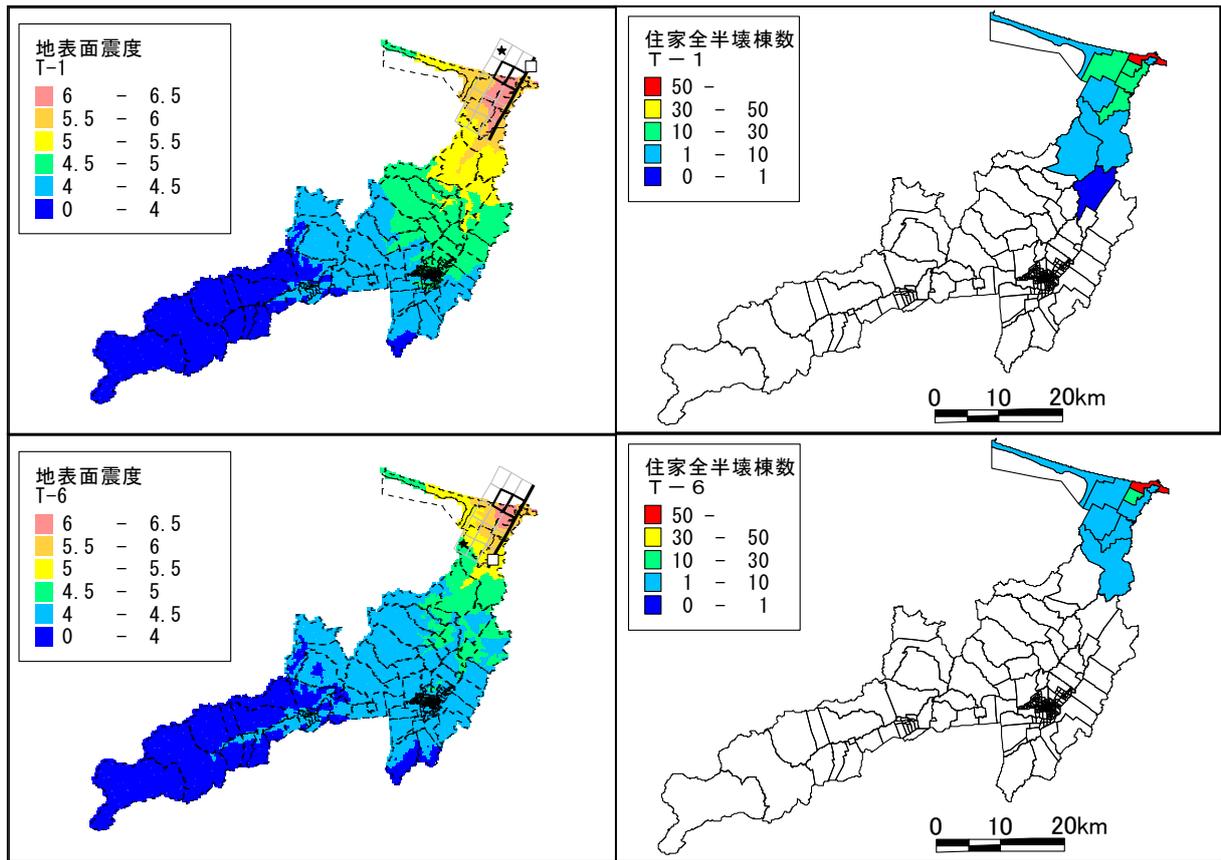


図10 T-1とT-6の比較

影響が強く被害の発生する範囲が広い。T-6ではディレクティビティとアスペリティの関係で常呂町常呂に被害が集中しているものの被害発生範囲は狭い。図6によれば、警防課は防災対策危機管理課と比較し、危険地域や難対応地域を重要視していることがわかる。このため常呂地区から端野地区にかけて被害が広範囲に広がることによりT-6の被害範囲と比較してT-1により多く含まれている難対応地域の被害が影響を与えていることがわかる。図11に難対応地域の内、小集落の分布図を示す。図10の震度分布と併せて見ることによりこのことが理解できる。

都市計画課では常呂川東岸断層帯(Tグループ)と相内北西リニアメント傾斜角135°(L3グループ)の優先度の差が最も小さくなっている。図6に示すとおり都市計画課では中枢地域の重要度が高い。これは北見市内における用途地域が指定されている線引き地区は、北見地区及び留辺蘂地区の一部であり、

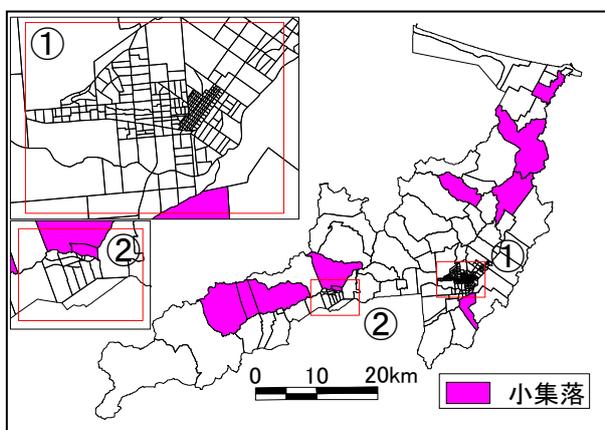


図11 小集落の分布

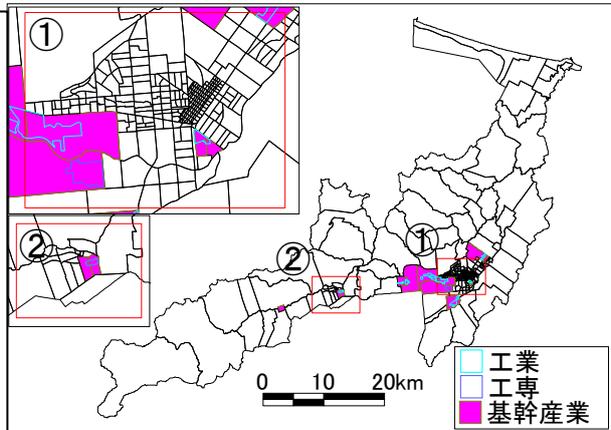


図12 基幹産業地区の分布

常呂地区においては都市計画課の所管業務は限られている。このようなことから北見地区に被害を及ぼすL3の優先度が高くなっている。これとは逆に常呂地区を所管する常呂総合支所においてはTグループとLグループの優先度の差が最も大きい。これは当該地区において被害の多いのがTグループである結果を表しているといえる。図12に都市計画課において重要度が最も高かった基幹産業地区の分布図を示す。また、図13に都市計画課のLグループで優先度が最も高くなったL3-5の震度分布図を示す。T-6の震度分布図とL3-5の震度分布図及小集落と基幹産業地区の分布図を比べることにより、各部局によって、それぞれが重要視している項目に被害をもたらす地震が異なることが理解できる。

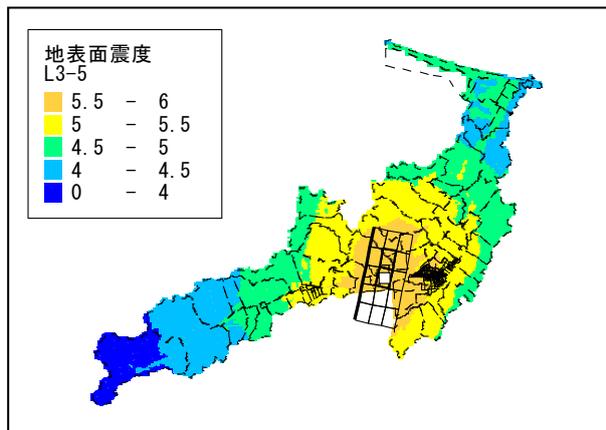


図13 L3-5の震度分布図

このように、想定地震の優先度はある単一指標（例えば全半壊棟数）の大小のみではなく、被害発生パターンの違いを考慮し総合的に決めることが重要であると指摘できる。

4. 対策のための優先地震の決定

各部局の想定地震の優先度が明らかとなったことから、この優先度を用いて対策優先地震を決定する。表9に各部局の優先度の平均値を用いた場合における順位と優先度を示す。順位については、全36パターン中の順位とT、L1、L2、L3の各グループ内における順位である。

優先地震の決定方法は、関係各部局によって考慮すべき被害種類に応じた被害分布・被害量を参考に総合的に判断して決定することが望ましいことは先に指摘した。必ずしも優先度の高いものから決める必要はないが、計算された優先度は、想定地震の危険性を定量的に評価したものであるから優先度の高いものを優先地震にすることが妥当であろう。ここでは、表9、図9を参考に優先地震決定の際の候補の決め方及び留意点について述べる。

表9 想定地震の総合順位

1)	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9
平均優先度	0.089	0.076	0.059	0.033	0.082	0.089	0.072	0.051	0.053
総合順位	2	4	6	10	3	1	5	8	7
グループ内順位	2	4	6	9	3	1	5	8	7
	L1-1	L1-2	L1-3	L1-4	L1-5	L1-6	L1-7	L1-8	L1-9
平均優先度	0.017	0.014	0.011	0.011	0.020	0.009	0.010	0.003	0.005
総合順位	20	21	25	28	18	30	29	35	31
グループ内順位	2	3	4	5	1	7	6	9	8
	L2-1	L2-2	L2-3	L2-4	L2-5	L2-6	L2-7	L2-8	L2-9
平均優先度	0.019	0.011	0.004	0.004	0.026	0.011	0.012	0.003	0.004
総合順位	19	26	32	33	13	27	24	36	34
グループ内順位	2	4	6	7	1	5	3	9	8
	L3-1	L3-2	L3-3	L3-4	L3-5	L3-6	L3-7	L3-8	L3-9
平均優先度	0.027	0.012	0.021	0.014	0.036	0.024	0.027	0.020	0.021
総合順位	12	23	15	22	9	14	11	17	16
グループ内順位	3	9	5	8	1	4	2	7	6

表6、表9によれば、優先度の順位は概ね建物の全半壊棟数の順位と同じ傾向となるものの、必ずしも同じではなく全半壊棟数が少なくても優先度の高いものがある。例えばT-2とT-7である。このようなことから優先地震の決定には、単純に木造住家全半壊棟数のみで決定することは当該地域にとって最

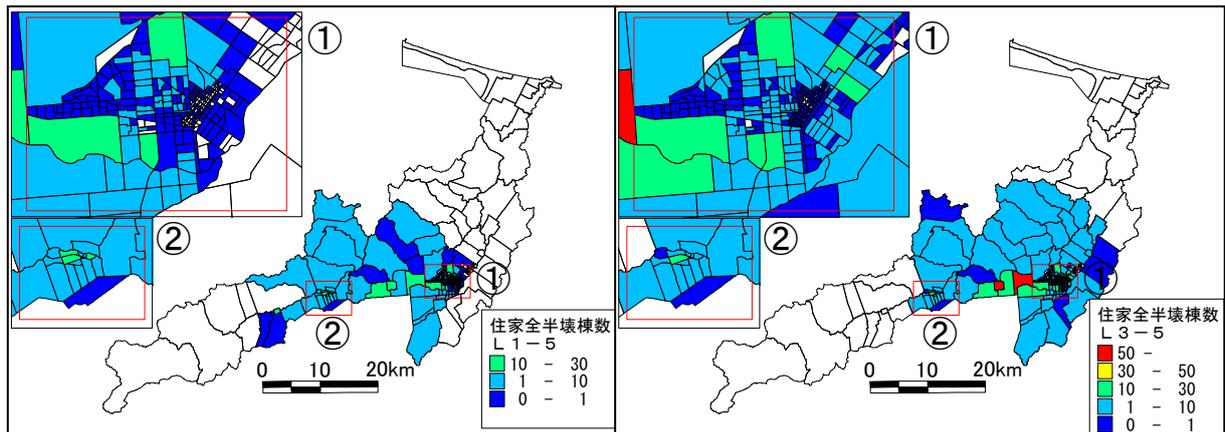


図 14 想定地震の住家全半壊棟数

も危険な地震を想定していることにはならないということを示している。

北見市は合併により誕生したことから、各自治区の被害が最大となるものを優先地震とするという考え方ができる。これは震源モデルを検討する際に、相内北西リニアメントの傾斜角を、3 パターン想定した考え方と同じである。北見・端野で最大被害となる地震はL3-5、常呂で最大被害となる地震はT-6、留辺蘂で最大被害となる地震はL1-5となる。当該コードの地震の優先度は図9に太線で記入している。L1-5、L3-5については、グループ内順位も1位であることから、優先地震としても妥当であろう。図14にL1-5とL3-5の住家前全半壊棟数を示す。図10及び図14からそれぞれの地震で被害分布が大きく異なっている点からも、T-6、L1-5、L3-5を優先地震とする必要がある。しかしT-6は7部局において順位が1位となっているが他の4部局ではT-1の順位が高くなっている。優先度の上からは、先に述べたとおり被害量だけではなく被害発生範囲の点でT-1の優先度を高いとしている部局があることを示している。このようなことから同市においてはT-6のみではなくT-1も検討する必要がある。図10にある通りT-1とT-6は被害発生範囲や被害量は似通っており、想定地震とすべき影響が大きい地震として、最大被害地震を用いた場合T-6が選ばれることとなる。つまりT-6と同じような分布であり、被害の若干少ないT-1はそもそも検討対象とならない可能性がある。しかし、本手法の結果、T-1とT-6には防災関連部局の意思決定の上では違いが存在しており、検討すべき地震として見落とすことなく検討対象に加えることができる。

5. 結

本研究では、断層パラメータによって被害量や分布が大きく異なる都市直下地震に対して想定される地震の中から対策優先度の高い地震を決定するために、自治体の防災対策部局の意思を数値化できるAHPを適用して被害評価結果の優先度評価を行い、その結果及び被害分布から優先地震の決定手法を提案した。この結果市町村にとって「影響の最も大きい地震」とは、必ずしも「最大」被害地震ではなく被害の「種類」・「量」・「分布」を総合的に判断する必要があり、従来であれば想定地震として見落とされかねなかった地震についても想定地震として検討対象に加えることができた。想定地震を決定後の後の防災対策は、従来の防災対策と同様に進めることができる。

本手法の妥当性を以下に整理する。

①想定地震の中から選択したT-1、T-6、L1-5、L3-5はそれぞれ被害が多く発生する地区が異なり、各グループ内における優先度が高いことから優先地震とすべきである。重要な被害に関する要素となる被害評価項目の被害量から、T-1、T-6は難対応地域や危険地域に対応する項目で被害が多いものがある。L3-5は中枢地域の被害が特に多くまた危険地域においても被害が多くなっている。L1-5については、ほぼ全ての項目で被害が発生している。優先地震の持つ被害分布の特徴が整理できる。

②従来であれば各部局においてどのような種類の被害がどのような地域に発生するかということを評価せずに、ある特定の被害量の過多のみで優先地震を決定してきた。しかし、重要度を数値化することに

よって各部局における優先度のグループ内順位が1位となっているものを選択することによって、妥当な優先地震を決定できた。また想定される地震の優先度が数値で評価され、この数値を元に備蓄計画立案等の数的根拠としていくことができる。

本研究では市レベルの自治体を事例としている。被害評価には都道府県レベルのものもあり、階層構造及び被害評価項目については検討が必要である。また、優先地震の決定に際し、各部局の優先度を対等に扱い単純に平均値で順位を決めているが、防災対策部局の重要度や、各部局における優先度のばらつき具合を考慮して優先度を決定する手法の適用なども今後必要であろう。

謝 辞

本論の作成に当たっては、北見市部防災対策危機管理室防災対策危機管理課のご協力を得た。記して御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 隈元崇・藤田雅俊・下橋優・栗山雅之：長大活断層帯から発生する地震の規模予測の不確定性に対するロジックツリー評価手法の応用事例糸魚川―静岡構造線活断層系を対象として-、活断層研究、27号、2007年、pp.95-111.
- 2) 岡田成幸・戸松誠：都市直下地震を想定した入力地震動の考え方と地域防災計画への指針 ―断層パラメータの不確定性がもたらす地震動入力及び被害評価への影響―、日本建築学会構造系論文集、第530号、2000年、pp.37-44.
- 3) 大阪府：大阪府事前災害総合防災対策検討(地震被害想定)報告書、2007年.
- 4) 地震調査研究推進本部：活断層で発生する地震の強震動評価のレシピ、<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>、2005年、(参照2009-10-7).
- 5) 中嶋唯貴・岡田成幸：死者低減を目的とした行政レベルの震災対策意思決定のための多種想定地震の戦略的選択法 ―名古屋市域における事例研究―、日本建築学会構造系論文集、639、2009年、pp775-783
- 6) 岡田成幸・村田さやか・高井伸雄：地域性を考慮した地震災害対策指針と担当行政の対策意識診断-北海道市町村を調査対象とした試行-、地域安全学会論文集、No.3、2001年、pp241-248.
- 7) 木下栄蔵：入門AHP 決断と合意形成のテクニック、日科技連.
- 8) 木下栄蔵：AHPの理論と実際、日科技連.
- 9) 地震調査研究推進本部：「全国を概観した強震動予測地図」報告書、2005年.
- 10) 活断層研究会編：[新編]日本の活断層（分布図と資料）、東京大学出版会、1991年.
- 11) 北見市防災会議：北見市地域防災計画.
- 12) Sugito,M., Furumoto,Y., and Sugiyama,T. : Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12th World Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM, Auckland, New Zealand, January 2000.
- 13) 地震調査研究推進本部：「長期的な地震発生確率の評価手法について」、<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>、2001年、(参照2009-10-7).
- 14) 星谷勝・中村孝明：構造物のリスクマネジメント、山海堂、2002年.
- 15) 松岡昌志・翠川三郎：国土数値情報を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、日本建築学会、1994年.
- 16) 藤本一雄・翠川三郎：日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定、日本地震工学会論文集、Vol.3, No.3、2003年、pp.13-27.
- 17) 内閣府（防災担当）：地震防災マップ作成技術資料、<http://www.bousai.go.jp/index.html>、2005年、(参照2009-10-7).
- 18) 翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄：計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標の関係、地域安全学会論文集、Vol. 1、1999年、pp51-56.
- 19) 田畑直樹・岡田成幸：地震時の木造建築物倒壊に伴う死者推定に向けた棟死亡率関数の提案、日本建

築学会構造件論文集、No.605、2006年7月、pp71-78.

- 20) 田畑直樹・岡田成幸・高井伸雄：建物損傷度関数と棟死亡率関数の地震防災への利用法,日本建築学会構造件論文集、No.611、2007年1月、pp39-46.
- 21) 中央防災会議・日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会:第17回日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害評価手法について、2006年.
- 22) 大阪府：大阪府地震被害評価調査、1997年.
- 23) 埼玉県：地震被害評価策定調査報告書、1982年.
- 24) 青森県：平成8年度青森県地震・津波被害評価調査報告書、1997年.

(受理：2010年6月14日)

(掲載決定：2011年1月21日)

Study on the Priority of Measuring against Scenario Earthquakes Based on Seismic Risk Estimation

TOMATSU Makoto ¹⁾ and OKADA Shigeyuki ²⁾

1) Researcher, Hokkaido Research Organization Northern Regional Building Research Institute, M. Eng.

2) Professor, Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

ABSTRACT

Local governments must prepare the regional mitigation plans on the basis of seismic hazard and risk estimation. The seismic risk estimation of 36 patterns of assumable scenario earthquakes with a variety of source parameters was done for Kitami City, Hokkaido Prefecture that is our research target. Taking account of each priority in the bureaus related to disaster prevention measures of the government, we proposed a new approach for choosing the more prior earthquakes among the assumable scenario earthquakes. By applying the Analytic Hierarchy Process (abbreviated to AHP) to the damage data, which we simulated under the 36 patterns of scenario earthquakes, multiplying by the weighted coefficients on the priority of each bureau; we selected the most important earthquakes of Kitami hazardous areas.

Key Words: Seismic Risk Estimation, Near Field Earthquake, Fault Parameter, Consensus Model, AHP