

## 4.3.5 地震動特性と被害との関係調査

### (1) 調査研究の目的と概要

#### (a) 課題名

地震動特性と被害との関係調査

#### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
北海道大学大学院工学研究科	教授	鏡味洋史	kgm@eng.hokudai.ac.jp
	助教授	岡田成幸	okd@eng.hokudai.ac.jp
	助手	高井伸雄	tki@eng.hokudai.ac.jp
	教授	角幸博	kado@eng.hokudai.ac.jp
	助手	池上重康	hoba@eng.hokudai.ac.jp
北海道大学大学院理学研究科	助教授	笹谷努	sasatani@ares.sci.hokudai.ac.jp
東京工業大学大学院総合理工研究科	助教授	山中浩明	yamanaka@depe.titech.ac.jp
	助手	元木健太郎	kmoto@enveng.titech.ac.jp
釧路工業高等専門学校	助手	西澤岳夫	nisizawa@archi.kushiro-ct.ac.jp

#### (c) 調査研究の目的

2003年9月26日に十勝沖で発生したM=8.0の地震は繰り返し発生するプレート境界の地震であり1952年十勝沖地震の再来となった。被害は十勝、釧路、日高支庁管内を中心に、石狩、空知、上川、胆振、根室支庁の広大な範囲に及んでおり、全容を早急に調査する必要がある。

今回の地震は1952年の地震の再来であり、当時の災害との比較考察が重要な視点となる。災害は地震入力と構造物の特性、社会条件によって大きく支配される。地震入力については強震観測網の整備により多くの記録が得られており、それらの解析が災害の理解の出発点となる。特に、大加速度を記録した強震記録のサイトの地下構造、構造物の被害との関係の解明が重要な課題である。住宅の倒壊などの被害は限られたが、軽微な被害は広範囲にわたり室内空間の破壊とそれに伴う800名を越える負傷者を生じている。室内被害の実態把握と負傷のメカニズム解明が重要な課題である。

### (2) 調査研究の成果

#### (a) 調査研究の要約

市町村別の震度をアンケート方式により調査し、地震動入力の空間分布を明らかにした。十勝南部地域でその被害の要因を解明するために臨時余震アレー観測、微動のアレー観測を実施し、地盤の影響を定量的に明らかにした。構造物の被害調査が系統的に行われていない歴史的建造物に的を絞り調査を行い被害の実態を明らかにした。室内被

害および負傷の状況について室内被害の集中した釧路市および浦河町について個別世帯へのヒヤリング調査を実施し、家具の配置および転倒状況、住民の危険回避・避難行動、負傷および負傷の危険性を明らかにした。今回の地震の一つ前の地震とされる 1952 年十勝沖地震被害との比較考察を行い、被害の類似点、相違点を明らかにした。

#### (b) 調査研究の実施方法

アンケート方式による震度調査を実施する。歴史的建造物の被害実態について被災地域の市町村に対してアンケート調査を行う。

地震動特性と地盤構造の関連を明らかにするため、強震観測点を含む地域で余震観測、微動アレー観測を行う。

歴史的建造物の現地被害調査を行う。室内被害および負傷の状況についての現地調査を実施する。被災現地の市町村に対する聞き取り調査を実施する。

強震記録の収集、1952 年十勝沖地震に関する文献調査を行う。

#### (c) 調査研究の成果

##### 1) アンケート方式による震度調査

###### a) 震度調査の概要

アンケート震度<sup>1)</sup>は、調査用紙を北海道の全 212 市町村に市 50 部、町村 25 部の計 6100 部を配布し、回収された 185 市町村、4619 部（回収率 75.5%）を対象に役場・役所所在地を観測点として震度を算出した。アンケート震度の算定結果および詳細は文献<sup>2)</sup>を参照されたい。

###### b) 震度分布

アンケート震度による本震と最大余震の震度分布図を図 1、図 2 に、アンケート震度の本震と最大余震との差をコンター表示して図 3 に示す。ここでの震度差とは、本震アンケート震度から最大余震のアンケート震度を減算したものである。図 3 より震度差が大きかった地域の値として新冠町の震度差 3.3（本震：4.6 最大余震：1.3）、静内町の震度差 2.0（本震：4.5 最大余震：2.5）、豊頃町の震度差 3.1（本震：5.4、最大余震：2.3）が挙げられる。

###### c) アンケート震度と計測震度

アンケート震度と K-NET 観測点では算定位置が異なるため、各地点での比較は出来ない。そこで、アンケート震度より求めた等震度分布図を基に K-NET 観測点のアンケート震度を便宜的に求め、計測震度と比較し図 4 に示す。これよりアンケート震度と計測震度は系統的に差が生じていることが分かる。2003 年 5 月 21 日の内陸直下地震である宮城沖地震では、この差が 0.47 であるという研究結果<sup>3)</sup>が報告されている。海溝型地震である本地震ではこの差が 0.57 で、先の値に近い。低震度域では、大きく乖離しているが、これは上記の発生時刻に起因しており、今回の地震では、震度 3 程度以下でアンケート震度の信頼性が落ちることを示している。

## 2) 強震動特性とそれに与える地盤構造の影響に関する調査

### a) 本震と最大余震による強震動特性の比較

前田・笹谷(2003)<sup>4)</sup>は、北海道から東北地方の太平洋側に設置されている広帯域速度型強震計(図5a;これらの強震計は、ほとんどが岩盤上に設置されている)による記録を用いて、本震(M8)と最大余震(M7)による強震動特性を比較した。図5bに、本震と最大余震によるこれら観測点での速度波形を示す。各波形は最大振幅でそれぞれ規格化されているが、図中に示した最大振幅値から分かるように、本震の場合、震央の東側の観測点で同距離の西側観測点よりも大きな振幅が観測されている。一方、最大余震の場合、震央の西側の観測点で同距離の東側の観測点よりも大きな振幅が観測されており、また、強震動の継続時間も短い。図5bに示した両地震の各波形に対してS波部分80秒間のスペクトルから求めたその比(本震/最大余震)を図5cに示す。0.1Hz以下の低周波数帯では、すべての観測点で、スペクトル比は10前後であり、これは、地震規模の違いを反映したものと考えられる。一方、1Hz以上の高周波数帯では、東側のNMRやAKKにおいてはその比が10以上であるが、西側のTMRやESHではその比が約1である。このように、本震と最大余震とでは、速度波形の最大値、その形状、及びスペクトル形状に異なった方位依存性が見られる。これは、両地震の破壊様式の違いを反映したものと考えられるが、この相違を定量的に明らかにすることが今後の課題である。

### b) 余震観測による地盤特性の評価

K-NETなど得られた本震による強震記録によれば、震源域に近い十勝平野南部の直別の最大速度は120cm/sを超える値であり、その他の地点でも強い揺れが観測されている。これらの地域では、古い木造家屋や道路・堤防などに被害も生じている。本研究では、強い揺れが観測された十勝平野南部において余震観測を実施し、地盤特性を評価するための基礎的なデータの取得を試みた。

観測は、図6aに示す本震の記録が得られている豊頃、直別、大樹の3地域および被害の大きかった大津において実施された。これらの4つの地域では、それぞれ図6b-eに示すように複数の地点に地震計を設置した。これらの観測点のうち、1点は比較的地盤が堅固であると考えられる地点とし、地盤特性を考える際の基準となることを意図して観測地点を決めた。CBT1は、K-NET直別観測点の付近に設置された(図6b)。CBT2は丘陵上の観測点であり、表層地質図(地質調査総合センター、2003)<sup>5)</sup>によれば、洪積層上の観測点である。図6cに示すように、豊頃では十勝川を横断するように6地点に機器が設置された。TYK1はKiK-Net観測点付近にあり、十勝川により形成された低地の中央部に位置している。TYK5は、十勝川の西側の丘陵部にある豊頃町役場付近の観測点である。この周辺では第三紀層が地表付近にあり、基準点となると考えられる。大樹町では、図6dのように3地点に地震計を設置した。これらの点の表層地質は洪積世の礫である。K-NET観測点でのボーリングデータによれば、表層のS波速度は520m/sであり、地盤条件は良好である。観測点のうちでTIK1が丘の上であり、基準点とみなした。

以上の観測点では、加速度計とデータロガーから構成される観測機器が設置された。観測は、2003年9月27~29日まで実施した。さらに、図6eに示す大津では、2点において2003年11月より余震観測を開始し、現在も観測中である。OFSは、大津の中心部に

ある大津消防署であり、TPS は山側の比較的地盤の良い地域にある。

観測された記録のうちで、最大加速度が  $1\text{cm/s/s}$  以上である記録を選んで、水平 2 成分の S 波初動から 20.48 秒間のスペクトルの相乗平均を計算し、各地域の基準点のスペクトルに対する比を求めた。さらに、解析対象となるすべての記録のスペクトル比を平均した。図 7 は、直別の余震観測点での加速度記録を積分して得られた速度波形の例である。図には、平均スペクトル比も示されている。CBT2 では、周期 0.2 秒以下の短周期成分が卓越している。CBT1 と CBT3 のスペクトル比ともに周期 0.4 秒付近に卓越したピークが認められる。K-NET 直別観測点のボーリング資料によれば、11m まで S 波速度は  $130\text{m/s}$  である。ピーク周期 0.4 秒を説明するためには、この表層の厚さは 13m 程度であればよく、この軟弱層はそれほど厚くないと考えられる。

図 8 には、豊頃での観測記録の例とスペクトル比が示されている。十勝川沿いの低地の中央部 (TYK1) で最大振幅が大きく、継続時間も長くなり、地盤の影響が著しい。スペクトル比は、周期 0.3 秒から 3 秒の間で観測場所による変動が大きい。TYK1 では周期 1 秒に明瞭なピークが認められる。このピークは十勝川の両側の段丘に近づくと、不明瞭になる。さらに、基準点 (TYK5) とその反対側の段丘上の TYK3 では、スペクトル比がほぼフラットとなり、十勝川の堆積層の影響が著しいことがわかる。TYK1 付近にある Ki K-net 豊頃観測点 (TKCH07) での表層構造は、図 9 のように P S 検層によって推定されている。それを用いて S 波の 1 次元増幅特性を計算した結果が図 10 に TYK1 のスペクトル比と比較されている。周期 0.3 秒以上の帯域で両者はほぼ一致しており、1 次元的な取り扱いによって地盤特性の評価が可能であると考えられる。ただし、本震時には、地盤の非線形挙動も確認されており (Yamanaka et al, 2004) <sup>6)</sup>、本震の推定にはその影響も考慮しなければならない。

図 11 は、大樹町の TIK1 に対する平均スペクトル比を示している。前述のように、これらの余震観測点では表層地質に大きな違いはなく、スペクトル比はほぼフラットであり、地盤増幅にも大きな差はない。大津での余震観測は本震の発生から時間が経ってから開始され、記録が十分に蓄積されていない。図 12 は M5.7 の余震に対する大津の 2 点のスペクトル比の例である。OFS では、周期 1 秒に明瞭なピークが認められ、地盤の影響が顕著である。

以上のように、豊頃と大津の十勝川に沿った低地では、周期 1 秒付近で卓越する表層地盤増幅特性が顕著に認められた。また、直別では、厚さ約 13m の軟弱な表層による増幅が周期 0.4 秒で卓越する。さらに、大樹では、地盤特性に大きな差異は認められなかった。今後、これらの増幅特性の定量的な評価を行う必要がある。

#### c) 微動観測による S 波速度構造の推定

地盤の S 波速度構造を明らかにするために、十勝平野南部で微動のアレイ観測を行った。観測点は、図 13 に示すように余震観測点を中心とした 4 地点である。各観測点では、7 点からなる最大地震計間隔約 1km および 0.4km の 2 つの十字アレイおよび 4 点からなる半径 50m 及び 30m の 2 つ円形アレイが展開された。各地点では、微動の上下成分が 15-60 分間観測された。

得られたアレイ記録に対して周波数 - 波数スペクトル解析もしくは空間自己相関関数解析を行い、位相速度の推定を行なった。得られた位相速度は、図 14 にまとめられている。

TYK（豊頃）や OTU（大津）では短周期での位相速度が小さく、表層の低速度層が有意な厚さで存在することを示唆している。こうした表層は、CKB（直別）では薄くなり、SSN ではほとんどみられないと考えられる。また、南にある観測点ほど、周波数 1 Hz 以下の低周波数での位相速度が小さくなり、深部の堆積層が厚いことを示唆している。これらの位相速度に対して GA による逆解析（山中・石田，1995）<sup>7)</sup>を行い、S 波速度を推定した。得られた S 波速度構造は図 15 に示すごとくである。上述したような地下構造の差異が認められる。

得られた S 波速度構造に対する S 波の増幅率を図 16 に示す。OTU や CKB では、基盤が深く、周期数秒でピークがあるが、TYK や SSN では周期 2 秒程度が最も長周期ピークとなる。また、TYK や OTU では、表層の低速度層によって周期 1 秒程度の成分が卓越している。この結果は余震観測の結果との矛盾がない。

余震観測に際しては、多くの方々にご協力を頂きました。本研究で用いた地震記録の一部は、防災科学技術研究所の K-NET、KiK-net によるものです。記して、感謝いたします。

## 2) 歴史的建造物の被害調査

### a) はじめに

本調査は、2003年十勝沖地震で歴史的建造物が受けた被害の状況および特性をまとめ、被害に対する修復措置や予防策についての検討課題や今後の歴史的環境を維持するための指針を示すことを目的とする。歴史的建造物を対象とした地震被害調査は、北海道においては本調査が初の試みである。

### b) 調査方法

本調査の流れは次の通り。

1. 「歴史的建造物」の定義
2. 対象市町村の選定
3. 歴史的建造物リストの作成
4. 対象市町村へのアンケート（一次調査）
5. 現地調査市町村の選定
6. 現地調査用調査シート作成
7. 現地調査（二次調査）

アンケートによる大まかな被害状況の把握（一次調査）後、詳細な現地被害調査（二次調査）を実施した。

### c) 「歴史的建造物」の定義

本調査の対象とする「歴史的建造物」は、「概ね50年を経た建築および土木構造物全て」とした。史跡は基本的に除外するが、国史跡「国泰寺跡」の山門などの建造物は対象に含めた。

### d) 現地調査市町村の選定

日高・十勝・釧路・根室支庁の全市町村に、胆振支庁の厚真町、穂別町を含めた46市町村を対象にアンケートを行い、その結果、上士幌町、厚岸町、根室市の現地調査を決定した。これに46市町村中、歴史的建造物数が最多（39件）で、かつ組積造建築の多い（7件）帯広市と、アンケートでは「被害把握を行っていない」と回答したものの、当方の電話調査で被害情報を確認した幕別町も加えた。結果、十勝支庁3、釧路支庁1、根室支庁1の計5市町村を現地調査（二次調査）対象とした。

### e) 被害の概要（表1）

今回の地震被害を受けた歴史的建造物は、5市町村で14件に上る。うち文化財等の指定・選定などを受けているものは、4件である。

f) 帯広市の被害詳細

）帯広聖公会双葉幼稚園：北海道帯広市東4条南10丁目／大正11年／木造平家

外観には被害は認められない。内部被害があったというが、調査時園長不在のため、内部調はできなかった。なお、当方が行政に依頼した被災調査に関しては、帯広市教育委員会からの問い合わせなどはなかったとのことである。後日、市教育委員会に問い合わせ実情を確認したところ、地震の揺れで頂部の天窓が開いてしまった（後日建設業者に依頼し閉めた）、柱周辺から土壁のものと思われる砂が若干でていた、玄関欄間ガラスにヒビが入っていた（ただし、地震の1ヵ月半ほど後に気付いたらしい）ことなどが報告された。

）東印度会社（飲食店）／旧高橋商店（途中名称：岩野商店）：北海道帯広市東1条南5丁目19／大正2年／土蔵造2階建

特に外壁漆喰の亀裂、剥離・落下が目立った。本建物は1993年釧路沖地震被害により、外壁に大きな被害を受けており、その補修も含めて外壁の改修が平成13年に行なわれた。したがって、外壁に認められる亀裂は全て今回の地震被害によるものである。最も目立つ被害は、側面（東面）の胴蛇腹漆喰（写真1）である。内部木造軸組が露出してしまったため、応急対策としてモルタルを塗っている。この他主屋では、正面庇の取り付け部分、後背の住宅部との取り付け部分、妻面頂部の鉢巻部分およびその下部など、隅各部に目立って亀裂が確認された。また、新建材であるが、正面に建て込んでいる引戸のガラス一部に亀裂が確認された。

）そば小川倉庫：北海道帯広市西1条南6丁目／明治44年／土蔵造平家

土蔵造の大規模な蔵であるが、長い間手入れされた形跡がなく、外壁仕上げ漆喰はほぼ全て剥落し、下地が露出する部分も少なくない。過去の地震被害によるものか、風化によるものかは判然としないが、写真2に示す土壁の崩落は、今回の地震が契機となったものである。ただし、長年に渡るメンテナンスレスの状態が、今回の結果を生んだことは紛れもない事実である。被災意識の鈍化あるいは、災害に対する慣れが、悪い形で現れてしまった事例といえる。

g) 幕別町の被害詳細

）(株)ニッタクス十勝工場ボイラー室煙突（旧新田ベニヤ製造所十勝工場ボイラー室煙突）：北海道中川郡幕別町新町68／竣工年不明／RC造

煙突胴体上部にある亀裂および剥落は以前の地震によるもの。今回の被害は脚部に集中した（写真3）。横揺れの衝撃が地盤面の境目で大きく作用し、剪断破壊をおこしたものと思われる。帯筋が露出している。同社では危険と判断し、2004年1月17日に撤去した。

）(株)ニッタクス十勝工場旧ボイラー室煙突(旧新田ベニヤ製造所十勝工場ボイラー室煙突)：北海道中川郡幕別町新町68／竣工年不明／RC造

前述の現ボイラー室および煙突ができる以前に使われていた煙突で、工場敷地の南端にある。今回の地震で中間部に前段破壊によるズレが生じた。前同様、危険と判断され、2003年12月末に撤去された。

）(株)ニッタクス十勝工場倉庫（旧新田帯革製造所製洪工場）：北海道中川郡幕別町新町68／大正元年／煉瓦造平家

一部残る煉瓦の壁体に亀裂ならびに落下が確認された。また、以前の地震被害と思われる、隅角部の亀裂ならびに臥梁部の崩壊が確認された。

) (株)ニッタクス十勝工場板工場(旧新田ベニヤ製造所十勝工場ドー工場):北海道中川郡幕別町新町68/大正13年/R C造2階建

嵌め殺しおよびはね出し窓のガラスが20枚程割れた。被災2ヵ月後に全て修復を終えた。

h) 上士幌町の被害詳細

旧国鉄士幌線タウシュベツ川橋梁(国鉄士幌線タウシュベツ川橋梁):北海道河東郡上士幌町/昭和12年/RC造

タウシュベツ川橋梁は、被災直後の地元NPOによる観察では糠平ダムの水位変化による水没のため確認できなかったが、その後損壊が発見された。本調査時も確認不可能であったが、2003年1月25日付の北海道新聞に損壊の様子が掲載されている。これによると同橋梁の一部が崩れ落ち、欠損部は幅・深さとも約4mに及ぶということである。また同記事によると同橋梁を所有する電源開発上士幌発電所は、「修繕や保存は特別考えていない」ことから、今後、対応策の検討が必要と考えられる。

i) 厚岸町の被害詳細

) 正行寺(本堂):北海道厚岸郡厚岸町梅香町1丁目19番地/寛政11年創建/木造/国重要文化財

漆喰壁の亀裂・剥離・欠落の被害は本堂内部に数多く確認できる。特に参詣間および余間の北壁面に多く、参詣間北壁面に11カ所、余間(写真4)北壁面4カ所、余間裏廊下の壁6カ所、計21カ所で被害がみられた。亀裂の幅は、最大25mmにおよぶ。内壁は亀裂・剥離・欠落以外に、欄間彫刻(牡丹)の落下、蹴込みの落下、廻縁の落下、組物の剥離が確認できる。牡丹の欄間彫刻は平成5年1月の釧路沖地震時にも落下しており、その様子は新聞記事にも掲載された。修復は施されているものの、その後抜本的な対策は講じられていない。外壁(写真5)被害は1カ所のみであるが、被害程度がやや大きいことから早急に修復が求められる。

) 国泰寺跡:北海道厚岸郡厚岸町湾月町1丁目/文化元~2年創建/国史跡

江戸期に建造・造立されたものであるが、後の修復が多い。国泰寺の古い史料では、天保14(1843)年の地震被害が確認されている。国泰寺跡にある建造物は、山門、中門、石造地蔵尊、歴代住職の墓石、後述する仏牙舍利塔であるが、全てになんらかの被害がみられた。木造の山門(写真6)は、柵の水平材が二カ所で落下したほか、本柱や本柱と控え柱をつなぐ筋交いが接合部からずれ、一部外れている。今後の被災時に備え、接合部の補強が必要であろう。一方、中門では柵の落下、柵下部の水平材の破断がみられた。石造建造物については、地蔵尊が台座より45mm後方へずれたほか、墓石が相次いで倒壊したものの、いずれもすぐに修復可能な状況で重大な被害までは至っていない。なお墓石は2003年12月12日現在、既に修復済みであった。

) 仏牙舍利塔:北海道厚岸郡厚岸町湾月町1丁目15番地(国泰寺境内)/天保13年造立/石造/町文化財

地震による被害は、舍利塔と舍利塔前面に位置する石灯籠(不夜灯)2基の全てに生じた。舍利塔は、塔身が回転するようにならざるほか、数カ所に塔身の欠落もみられた。加えて塔

身上部の相輪（九輪）（写真7）も倒壊した。石灯籠は、2基とも笠が倒壊し、舎利塔同様のずれも生じた。

#### j) 根室市の被害詳細

##### ）照井商店：北海道根室市光和町1丁目 / 明治 / 木造2階建

根室駅の駅前通に立地する明治期創業の商店であり、1階和風、2階洋風のいわゆる函館洋風町屋と同様の意匠を見せる木造市街地建築である。今回の被害報告はあったが、店舗部ではなく増築した住居部分であった。ただし新建材の外壁タイルが一部落下した程度であった。外観に特徴的な寄棟屋根の矛状棟飾りが1本失われているが、2002年の強風被害により破損したということである。

##### ）川辺商店商品庫：北海道根室市本町4丁目 / 竣工年不明 / 煉瓦造2階建

外壁が全面モルタル塗りで仕上げられているため、これまで主要構造体は不明であったが、今回の地震被害で外壁モルタルが剥落したことにより、内部の煉瓦構造体が露出し、煉瓦造であることが判明した。損壊の程度は他の例と比較すると大きく、壁の亀裂、剥がれ、落下が認められる他、屋根においても棟部分の仕上げモルタルが広範囲にわたり、剥離、落下している。

##### ）根室市郷土資料保存センター（大湊海軍通信隊根室分遣所 / 花咲港小学校）：北海道根室市花咲港209 / 昭和17年 / 煉瓦造平家

第二次世界大戦中に陸軍の施設として建設され、戦後は小学校校舎となった建物で、現在は博物館設置準備室が管理する郷土資料保存センターとなっている。今回の地震被害では外壁の亀裂が3箇所認められた（写真8）。

### 3) 空間の被害の調査

#### a) 調査の概要

震度5強以上でかつ被害の大きかった浦河町、釧路市、静内町を調査対象地域として被災世帯の個別ヒアリングを行った。調査の主要項目は 建物の被害状況 負傷の有無とその発生場所・原因・時期 地震前の家具の配置状況 地震時の家具の転倒・移動・散乱状況 地震時の家族の行動軌跡 過去の被災経験である。調査は地震発生から約2ヶ月後に1世帯あたり約1時間半の時間をかけ、計69世帯184名について行った。

#### b) 負傷原因

浦河町のまとめた負傷者統計からは、年齢性別人口に対する負傷率は年齢とともに上昇し、女性の方が男性よりも高いなど、既往の研究<sup>8)</sup>でも指摘されている傾向が認められる。（図17）

ヒアリング対象世帯について建物被害程度と負傷発生率との間に強い相関関係は見られない。一方で、震度と負傷発生率の相関が高く、人的被害の多くは室内被害によって発生したと考えられる。また、図18より散乱は低い震度でも発生し、震度が高くなるにつれてその程度は大きくなり、震度5以上では散乱が激しく室内の危険性も極めて大きくなることわかる。家具の内容物が床の上に散乱することは居住者の負傷原因になるのみならず、地震発生後の避難行動の妨げや火災の発生など後続被害に直結する。

図19に性別の負傷時期と負傷原因の割合を示す。男性は揺れている最中の負傷率が高く、女性は避難の途中の負傷率が高い。後片付けの最中の負傷率は男女を問わず高い。ま



た、揺れ最中や避難の途中の成傷器はガラス・食器や家具など複数であるのに対し、揺れ直後と片付け最中の成傷器はすべてガラス・食器であるように、地震時における成傷器は、ガラス・食器の割合が非常に高くなっている。なお、構造部材の落下による負傷は見られない。

#### c) 危険領域

室内散乱は上記した地震動の強さ(震度)の他に世帯の保有家具数にも影響される。岡田<sup>9)</sup>は1㎡あたりの家具数が0.3個を越えると危険度が高くなること、また、平面形状から家具が重なり合って転倒する可能性の有無を判断し、危険な部屋と安全な部屋の分類を行い、壁1mあたりの家具数が0.5個及び床1平米あたりの家具数が0.3個を危険と安全の閾値に設定している。そこで調査世帯について危険な部屋と安全な部屋の分類をした上で、両閾値を危険ラインとし、本調査の負傷の有無をプロットしたのが図20である。0.3個以上に負傷の発生が見られ、家の広さに対する適正な家具数があることが強く示唆されている。また、地震時にいた部屋の単位壁長あたりの家具数が0.5個を越えた配置は負傷の割合が高くなっていることも確認された。危険のポテンシャルは以上で説明されるが、そこに人間行動というもう一つの要因が作用している。

#### d) 人間行動

地震時の時間経過を初期微動時、主要動時、揺れ直後に3分類し、その時間帯ごとに調査した184人の行動種別の頻度分布を図21に示す。ここで状態維持とはそれ以前にっていた状態を保持することであり、本地震は早朝に発生しほとんどの人が寝ていたため、状態維持が多く複数行動を取った人はほとんどいない。行動の中で目立つのは、揺れが大きくなるまでに約30秒の時間があつたため、その間に避難や移動などの行動をとった場合である。避難移動では戸外へ脱出した人はほとんどなく、居間や廊下への移動が多い。主要動時は揺れの激しさのため、ほとんどの人が動けず状態維持となっている。地震直後の目的移動では、テレビやラジオをつけ情報収集を行った人や、室内の被害を見回った人が多い。さらに過去の地震経験から余震を予想して部屋の片づけをすぐには行わなかった人が多く、それによって余震による二次被害を回避している例も多く見られた。性別による差は揺れ最中に見られ、女性のほうがより多く行動している。特に避難移動をした女性は男性の2倍おり、女性は避難の途中の負傷率が高いことが説明できる。

#### e) 個別解析

家具の危険領域と行動から負傷要因をマクロ的に眺めてきた。次に、事例を個別に吟味し、負傷要因の深部を議論する。ヒアリングした内容は、世帯別に事例カルテとして、建物・人的・行動情報に分類し、人的被害発生の有無とその要因等を詳しく記述した。また、簡易平面図を付し、地震前の家具の配置、家具の転倒散乱状況、被災者の行動軌跡を整理した。

特徴的な動きのあった一例を図22に示す。この事例は図20のなかのAにあたり、家具数、平面形状ともに危険と判断される部屋にいたにも拘わらず、負傷の発生しなかった事例である。居住者bは揺れに気付くと、タンスの上の落ちそうなガラスケースを押さえようと立ち上がった。その直後に後ろでタンスが布団の上に倒れ、危険を回避している。地震時の咄嗟の判断が危険を回避したとはいえ、幸運な例と言えよう。また、図20のBは安全と判断される部屋にいたにも拘わらず負傷した事例である。この事例の居住者は揺

れで目が覚めて、外へ避難しようと扉を開けた、ちょうどその時、揺れが大きくなり外へ投げ出されて骨折した。事前に自室が安全である情報を持っていたなら、避けられた例である。

調査地域は地震頻発地であるため、全体的に地震時に冷静な判断を下している人が多い。たとえば、揺れに気付くと同時に飛び起きて窓を開けるなどの避難路を確保する事例や、住家内の安全域と危険域をあらかじめ把握しており、瞬時に安全域に避難した事例、さらに家具の固定や寝室の家具配置工夫により室内被害防止をしていた事例も多い。そのような世帯は家具数が多く図 20 で危険領域に入っているにもかかわらず負傷していない。過去の被災体験が教訓として生かされた例と言えよう。

#### 4) 1952 年十勝沖地震との比較

##### a) 強震記録

2003 年十勝沖地震は、1952 年十勝沖地震 (M8.2) とほぼ同じ震源域で発生している。そこで、同一観測点での両地震による記録を比較することから、両地震による強震動特性を検討することが可能である。幸いなことに、両地震による強震動は、数点の気象庁の観測点で記録されている。ただし、52 年地震当時の強震計は気象庁 1 倍強震計 (変位計; 井上 (1954)<sup>10)</sup>) で、03 年地震時のそれは 95 型震度計 (加速度計) である。これらの記録を直接比較するために、95 型強震計による記録を 2 回積分し、さらに、1 倍強震計の特性に補正し、52 年地震による記録と比較した (図 23; 前田・笹谷 (2003)<sup>11)</sup>)。震源近傍観測点での記録は振り切れているので全体の比較が困難であるが、250km 以上離れた地点では、図に示すように、その比較が可能である。稚内では、52 年地震の記録の方が 03 年地震のそれよりもやや大きい、両地震による波形は良く似ている。また、宮古、八戸、仙台では、二つの地震による振幅レベルに顕著な差は見られない。これらの事実は、両地震による強震動特性が似ていることを意味している。そして、両地震において、東北地方の記録に比べて稚内の記録の振幅がかなり大きいことは、今後解明すべき課題である。

##### b) 人的被害

1952 年の地震では 29 名の死者を生じている。十勝沖震災誌<sup>11)</sup>よりまとめ表 2 に示す。直接建物の倒壊によるものは 3 名で浦幌村、豊頃村、厚真村各 1 名ずつである。浦幌中学校では火気の始末をしていた教諭が逃げ遅れ犠牲となっている。釧路市では炭鉱のズリ山の崩壊で社宅群を押しつぶし 8 名が犠牲となっている。建物関係では集合煙突の倒壊により 9 名が亡くなっている。津波による死者は浜中村、厚岸町で各 3 名であるがいずれも老人、乳幼児、障害者で災害弱者である。その他として奔馬、火傷、ショック死のほか衛生状態の悪化のなかでの赤痢によるものがある。

一方 2003 年十勝沖地震では、行方不明者 2 名、負傷者 842 名となっている。行方不明者は豊頃町の十勝川河口右岸の大津の海岸に釣りに来ていたと見られる 2 名であり津波に流されたものと思われ捜索が続けられているが見つからない。負傷者の生じた市町村は石狩、空知、上川、胆振、日高、十勝、釧路、根室の 8 支庁の 53 市町村に亘っており、後述の住家被害を受けた範囲より広い。負傷者の数は 52 年の地震に比べ多くなっているが、軽傷で治療を受けた人が多くカウントされているためと思われる。

### c) 住家の被害

1952年の地震では全壊1,614半壊5,449であり、特に池田町(全壊率7.2%)、豊頃村(27)、大津村(26)、浦幌村(18)、三石町(1.1)、浦河町(18)、荻伏村(1.1)などで大きな被害となっている<sup>12)</sup>。今回の地震では全壊78、半壊100、一部破損1,525棟となっており、全壊、半壊は少なくなっている。一方、一部破損は多いが、軽微な被害までカウントされているためと思われる。被害の多かった場所は52年の被害集中地区とほぼ一致する。全壊あるいは半壊となった住家は建築年代の古いもの不朽の進んだものである。十勝川の周辺の低湿地では液状化の被害が多く発生し道路、堤防など土構造物に大きな被害を生じた。しかし、これらの地域では木造住宅の被害は軽微であった。この地域は冬季間の凍上を避けるために客土したり、基礎を深く設けたり、最近の建物では杭を用いたりしていることで被害をまぬがれたものと考えられる。一方、震源から250km以上離れた札幌市内でも50棟の一部破損がみられた。被害は外壁・基礎等の亀裂、集合煙突の被害など軽微なものであり、清田区、白石区に多く見られた。これらの地区ではこれまで1968年十勝沖地震や1982年浦河沖地震などでも被害が見られたところである。清田区美しが丘は比較的新しい宅地造成地であるが液状化が発生し家屋の傾斜被害が生じた。古い地形図を参照すると沢を埋めた場所に相当する。

### d) 住家以外の建物被害

1952年の地震では役所、学校など多くが被害を受けたが大半が木造であった。鉄筋コンクリート造の建物は釧路市などに限られ被害は軽微であった<sup>13)</sup>。煉瓦造の倉庫などの被害は多かった<sup>14)</sup>。2003年の地震では、釧路空港ターミナルビルの天井の落下、同管制塔の天井落下、釧路町役場の玄関の庇の落下、大樹町役場塔屋展望台の崩壊が大きく報道された。釧路空港のターミナルビルは構造躯体に損傷は無かったがロビー天井が破損し石膏ボード、野縁材が落下した。始業前のため無人で人的被害はなかったが、時間がずれていれば人的被害はまぬがれなかったものと推察される。構造物については非構造壁にクラックの入ったもの、エキスパンション部に被害の見られたものは数多く散見された。公民館、体育館の天井の落下、照明器具や暖房設備の落下は数多く見られた。いずれも使用時間外であったため人的被害などには結びつかなかったが、発生時刻によっては重大な災害になりかねない被害であり、2次部材の耐震性についての再検討および現存建物の診断が重要となろう。

### e) 被害の特徴

1952年の地震の1周年に北海道が刊行した「十勝沖震災誌」<sup>11)</sup>には、被害の報告のみでなく、対応、復旧過程そして1年後の実態を含めて統計資料とともに詳細に記述されている。そのなかのまとめの「今次災害の特殊事情」では次の7つの事項を特徴、教訓として掲げている。今回の地震災害と比較してみる。

地震の恐ろしさを知らなかったこと：歴史が浅く震害経験が少なかったことを上げている。この地震の前の地震は1894年の根室沖の地震であるが、それについての記述は少なく、1952年の地震災害が著しく大きかったことを物語っている。この地震以降は多くの被害地震が発生しており、経験を活かしていくべきである。

火災の発生が少なかった：厳冬期に拘わらず火災が9件と少なかった、今回の地震では3件の出火があり2件の工場火災は30分以内に鎮火された。しかし、苫小牧の石油タン

ク火災は炎上し鎮火までに2日を要した。さらに28日には油漏れをしていた別のタンクから火災が発生した。今回の地震は発生時刻が未明であり朝食準備のための火気は使用されていなかった、また9月下旬であり暖房の時期でもなかったことが幸いしている。冬季の夜間に発生した1993年釧路沖地震でも火災の発生は少なかったが一方、消火に伴う火傷が多かった。

流氷を伴った波浪：確率は決して高くないが流氷と津波という複合災害になった。この事例に限らず複合災害に対する防災は重要な課題である。

家屋の構造との関係：木造住宅の特徴として、次の6項目を上げている。

- 1) 小屋組み断面が小さく、梁材も著しく小さい。屋根はトタンまたは桎ぶきで軽い。
- 2) 開口部が少ない。
- 3) 平面が複雑でなく箱型である。
- 4) 板壁が多い。
- 5) 平屋建てが多かった。
- 6) 積雪が少なかった。

多くは現在に通じるものがあり浦河沖地震、釧路沖地震などでも指摘されている。地域特性を考慮した被害想定、対策が肝要である。

地域が広範で、人口が希薄であった：被災地域が広範であり被害調査・対応に支障をきたしたことは1994年北海道東方沖地震でも指摘された。北海道の人口は437万から573万と50年間で30%程度の増加であるが、都市部の帯広は5.5万から17万人へ、釧路は10万から20万へと増加している。その一方、周辺の特に炭鉱や鉱山で栄えていた町村での減少が著しい。

集合煙突の被害が大きい：暖房様式の変化により減少しているが、古いもので耐震性能の乏しいものが残されている。今回の地震でも被害は見られたが、その数は多くなかった。これまでの地震で耐震性の低いものは淘汰されたためと思われる。

行政の中核が被災しなかった：札幌が被災地ではなく対応が取りやすかったことを示し、南海地震・福井地震の場合と比較し、札幌が被災の中心となった場合の警鐘を行っている。今回の地震でも札幌は被害の中心とならなかったが、現在にも通じる重要な課題である。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

アンケート震度調査を実施し、K-NETによる記録から算定される他の震度との比較検討を実施した。特にアンケート震度と計測震度との比較に関しては、震度3以上での系統的な差が明らかとなった。石狩平野周辺で、本震及び最大余震において各震度、最大加速度値がほぼ同一の地域が広がっていることが分かった。また、本震と最大余震の比較から特異な観測点を指摘した。今後の課題として、その特異点を調査するとともに、両者の相違の原因究明を行う必要がある。

2003年と1952年十勝沖地震による強震動記録の比較から、両地震の震源特性について検討した。その結果、両地震による強震動記録は、定性的には良く似ていることがわかった。また、本震と最大余震による強震動の比較から方位分布に大きな相違のあることがわかった。本震で大加速度を観測し被害の発生した十勝南部地域でその被害の要因を解明するために臨時余震アレー観測を実施し、表層の地盤の効果が大きいことを明らかにした。さら

に、余震観測から得られた経験的な増幅特性を検証するために、各余震観測地点で微動のアレー観測を実施し、S波速度構造を推定した。今後の課題として、面的な評価へ広げる必要がある。

歴史的建造物の被害について系統調査した。帯広市、幕別町、上士幌町、厚岸町、根室市の5市町の14件の被害実態を明らかにした。北海道における歴史的建造物の地震被害の組織的な調査は初めてであり、各市町村の歴史的資産に対する災害時調査の管理体制の確立、被害調査マニュアルの整備が課題である。

ヒアリング調査による事例解析により、室内での人的被害発生の要因を明らかにし、安全な住宅の基本要因と地震時の安全な行動について具体的指針を得た。今後の課題として、これらをもとに室内での人的被害軽減の具体的な対策に繋げていく必要がある。

一つ前の固有地震の1952年十勝沖地震との比較を行った。強震記録の比較からは両者は良く似ていることを明らかにした。被害についても大局的には非常によく似た分布を示していることを明らかにした。今回の1952年の地震との比較は定性的な段階に止まっているが被害の質的变化の問題、定量的な議論は今後の課題としたい。

#### (e) 引用文献

- 1) 太田裕・後藤典俊・大橋ひとみ：アンケートによる地震時の震度の推定，北海道大学工学部研究報告，第92号、1979.
- 2) 清水学・岡田成幸・高井伸雄・井川卓也：2003年十勝沖地震における北海道の震度分布 - アンケート震度・計測震度・境界震度 - ，日本建築学会2004年度大会，2004.(投稿中).
- 3) 落合衛・源栄正人・大野晋：5月26日宮城県沖の地震における宮城県域のアンケート震度調査，日本地震工学会・大会-2003梗概集，特114-115，2003.
- 4) 前田宜浩・笹谷努：2003年十勝沖地震による強震動、北海道大学地球物理学研究報告、No. 67、167-179、2004 .
- 5) 地質調査総合センター：20万分の数値地質図幅集「北海道南部」，産業技術総合研究所，CDROM，2003.
- 6) H.Yamanaka, K. Motoki, K. Etoh, M. Murayama, and N. Komaba: Observation of aftershocks of the 2003 Tokachi-Oki earthquake for estimation of local site effects Earth Planets Space, 56, 335-340, 2004.
- 7) 山中浩明・石田 寛：遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析，日本建築学会構造系論文集，No.468，9-17.1995.
- 8) 村上ひとみ：2003年宮城県北部地震の人的被害、日本地震工学会、p137、2003
- 9) 岡田成幸：往診型居室内地震危険度ゾーニング評価システムの開発、科研基盤研究B研究成果報告書、pp1-17、pp49-57、1997 .
- 10) 井上宇胤：十勝沖地震調査報告、I. 概観、十勝沖地震調査報告、6-30 . 1954 .
- 11) 北海道：十勝沖震災誌、739pp、1954.
- 12) 大野和夫・洪悦郎・柳沢文夫：木造建築物の被害について、十勝沖地震調査報告、845-926、1954.
- 13) 横田道夫：鉄筋コンクリート造及び鉄骨構造、十勝沖地震調査報告、815-829、1954.
- 14) 西忠雄：組積造、十勝沖地震調査報告、831-843、1954.

## (f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
山中浩明,元木健太郎,江藤公信,村山雅成,駒場信彦	十勝地方南部における2003年十勝沖地震の余震観測と地盤特性	2003年地震学会秋季大会	平成15年10月6日
鏡味洋史	2003年9月26日十勝沖地震の被害速報	自然災害科学、22-3	平成15年11月30日
鏡味洋史	十勝沖・根室沖における過去の被害地震と2003年十勝沖地震	第7回耐震工学研究会(東北大学)	平成15年12月13日
笹谷 努	2003年十勝沖地震被害報告 - 地震・地震動 -	震災予防、194, 22-26	平成16年1月
岡田成幸	2003年十勝沖地震被害報告 - 空間の被害	震災予防、194	平成16年1月
鏡味洋史	2003年十勝沖地震被害報告 - 1952年の十勝沖地震との比較	震災予防、194	平成16年1月
笹谷努	北海道内の地震動特性の特徴	2003年十勝沖地震研究成果報告会(北海道大学)	平成16年3月5日
岡田成幸	地震による建物・土木・人的被害の特徴	2003年十勝沖地震研究成果報告会(北海道大学)	平成16年3月5日
鏡味洋史	1952年十勝沖地震と2003年十勝沖地震との関係	2003年十勝沖地震研究成果報告会(北海道大学)	平成16年3月5日
前田宜浩 笹谷 努	2003年十勝沖地震による強震動	北海道大学地球物理学研究報告、No. 67, 167-179	平成16年3月
H.Yamanaka, K. Motoki, K. Etoh, M. Murayama, N. Komaba	Observation of aftershocks of the 2003 Tokachi-Oki earthquake for estimation of local site effects	Earth Planets Space, 56, 335-340	2004年
清水学・岡田成幸・高井伸雄・井川卓也	2003年十勝沖地震における北海道の震度分布 - アンケート震度・計測震度・境震度 -	日本建築学会北海道支部研究報告集	平成16年7月(投稿中)
田村篤・岡田成幸・田畑直樹・名知典之・渡辺千明・南慎一・高橋章弘・戸松誠・松岡佳秀	地震時の人的被害軽減に向けた2003年十勝沖地震室内ヒアリング調査	日本建築学会2004年度大会	平成16年8月(投稿中)

## 図表写真の説明文

- 図 1 アンケート震度分布図（本震）
- 図 2 アンケート震度分布図（余震）
- 図 3 アンケート震度差分布
- 図 4 本震アンケート震度 - 計測震度
- 図 5 (a) 震央と観測点分布 (b) 速度波形（左：本震、右：最大余震；）URH では最大余震を欠測） (c) S波スペクトル比（本震 / 最大余震）
- 図 6 a) 余震観測を行った地域 b) 直別地域の観測点の位置 c) 豊頃の観測点の位置 d) 大樹の観測点の位置 e) 大津の観測点位置 .
- 図 7 直別で観測された余震の速度波形と CBT2 に対するスペクトル比
- 図 8 豊頃で観測された余震の速度波形と TYK5 に対するスペクトル比
- 図 9 KiK-net 豊頃観測点での S 波速度構造
- 図 10 TYK1 のスペクトル比と図 5 のモデルに対する増幅特性の比較
- 図 11 大樹町で観測された余震の TIK1 に対するスペクトル比
- 図 12 TPS に対する OFS のスペクトル比の例（2003 年 12 月 22 日 17 時の地震）
- 図 13 微動アレイ観測の位置
- 図 14 微動の位相速度の比較
- 図 15 位相速度の逆解析から得られた S 波速度構造
- 図 16 図 11 のモデルに対する S 波の増幅特性
- 図 17 年齢性別負傷率
- 図 18 震度と散乱程度
- 図 19 負傷時期と原因
- 図 20 家具数・部屋形状と危険領域
- 図 21 地震時の行動種別頻度分布
- 図 22 事例カルテ
- 図 23 1952 年と 2003 年十勝沖地震による強震動記録の比較

表 1 2003 年十勝沖地震で損壊した歴史的建造物

表 2 1952 年十勝沖地震による死者発生状況

- 写真 1 東印度会社 胴蛇腹漆喰部分
- 写真 2 そば小川倉庫 土壁崩落
- 写真 3 (株)ニッタクス十勝工場ボイラー室煙突 脚部損壊
- 写真 4 正行寺余間 漆喰壁亀裂・剥離
- 写真 5 正行寺外壁 亀裂・剥離
- 写真 6 国泰寺跡山門 柵の水平材落下
- 写真 7 仏牙舍利塔 相輪倒壊
- 写真 8 根室市郷土資料保存センター胴帯亀裂