

# 市民意識調査にみる建物の耐震安全性とそのレベルに関する研究 — カナダ・バンクーバーにおける意識調査から —

構造 — 荷重・信頼性

正会員 ○ 平田 京子\*<sup>1</sup>

正会員 石川 孝重\*<sup>2</sup>

耐震性            構造安全            市民  
目標レベル      コスト意識        建築規準

## § 1 はじめに

これまで耐震安全性レベルの社会的な合意形成をめざして、市民が望む耐震安全性レベルの定量的評価を試みてきた<sup>1,2)</sup>。日本では免震・制震構造といった耐震技術が発展しており、市民には耐震安全性の重要性も認知されつつある。また2005年には耐震偽装問題も生じたために市民の安全性に対する意識は高まっている。しかしどれくらいの安全性を標準にすればよいのかは、その社会のおかれた状況にも関連する。市民の要望を無視したり、工学的水準だけで決めて合意を得ないのは問題である。

本報では、諸外国の市民がどのような耐震レベルを欲しているか、日本の市民意識と対比することで、国際的に日本の特徴や水準を確認するために実施した国外調査結果の概要を報告する。調査は世界の地震発生地域の1つであるカナダ・バンクーバーにおける市民の意識の把握を目的としており、The University of British Columbiaの教員と行った共同研究の結果の一部である<sup>3)</sup>。

## § 2 調査方法

アンケート調査用紙をブレインストーミングを基に作成した。カナダBC州の現状と安全水準の検討から、日本でのアンケート問題に大幅な変更を加えた。希望レベルの調査は身近さと現実感を与えるため、既存建物の耐震性評価と現在のレベル要求の2点に目的をしばり、その他の問題を加え、非確率サンプリングにより2グループの市民計65名に調査を実施した。調査概要を表1に示す。回答者の大地震の経験を図1に示す。

表1 バンクーバー調査の概要

	一般男女(職業人)	市民
調査時期	2004年11月	2005年3月
回収数	25	40
回収率	69%	34%
男:女	18:7	21:19
年齢	20~70代	20~60代

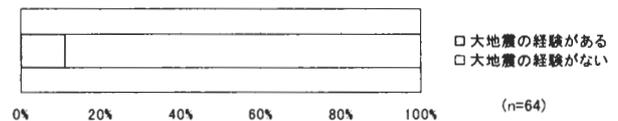


図1 大地震の経験

## § 3 カナダにおける地震発生状況と建築規準

カナダはアメリカ同様、各州が大きな自治権をもち、独立的なシステムをとっている。カナダにおいて大地震リスクの高い地域であり、かつ大きな都市を含む州としては、ブリティッシュ・コロンビア州（バンクーバー市）、ケベック州があげられる。地域による差も大きく、トロントや首都オタワなどでは、地震リスクは小さい（2005年地震ハザードマップ）<sup>4)</sup>。

カナダ西部における被害地震の発生は、1700年以降6つ程度と少なく、大地震の頻度も低いが、最大の地震としては1700年のCascadia Subduction Zoneで発生したマグニチュードIXの地震がある。建国からの歴史が浅いため、歴史地震についての十分な資料がなく、この大地震は日本の古文獻に記載された津波記録から初めて規模が明らかになった。それゆえ地震計測についても歴史が浅く、1949年の大地震が初めての記録である。国内の強震動記録はほとんどなく、そのため設計にはカリフォルニアで記録されたものを使うことが多い。日本の強震データも使われることがある。

カナダではNBCC (National Building Code of Canada) が連邦レベルでの建築規制を行い、各州政府はこの条文を受け入れる形であり、多少の地震荷重の変更を行う州もある。アメリカ・日本のような法律レベルのものは存在しない。市の建築確認はあるが、構造設計および計算の詳細についてのチェックは一部を除き行われず、Professional Engineerのサインがあれば建築可能である。ただし問題が生じた場合、設計者の責任は裁判において問

われることになり、容易に、かつ多くの訴訟が起こされる。その代わりに建築主・設計者・施工者の三者に対して手抜きやエラーをカバーする保険システムがある。

耐震設計に必要な強震データがきわめて少ないため、地震動評価には確率的な評価方法を採用しており、NBCC 1995では地震荷重として50年間における10%の超過確率が定められていた。これはアメリカと同一形式でGlobal Standardともいうべき標準的な規定方法である。2005年に改訂された新NBCCではアメリカが地震荷重を引き上げたこともあり、北米での一貫性をもたせることを目的に、カナダ東部の値の上昇と、超過確率が50年間で2%へと引き上げられた。具体的にバンクーバーの10%超過確率値であるPGA（最大地動加速度）は0.2gである<sup>3)</sup>。設計法は限界状態設計法であり、安全性レベルは大地震に対するLife Safetyが照査されるだけで、日本の一次設計に該当するものはない。安全性指標は慣用的に $\beta = 3$ が最小限として採用されている。

#### § 4 安全性レベルの意識調査の目的と前提

日本における目標耐震安全性レベルに対する市民調査と同項目の調査によって結果を比較することを当初試みたが、バンクーバー市民は地震に対する知識や地震経験が少なく、アンケート調査そのものにも慣れていないことが明らかになった。

バンクーバーはカナダ国内で最も地震リスクの高い地域の1つだが、市民はMMI（修正メルカリ震度階：北米で使用）を知らず、また新聞やTV報道でもマグニチュードが伝えられるだけである。気象庁のマグニチュード・震度速報のような速報体制はなく、震源の深さや各地の震度は報道されない。バンクーバーの主要新聞でさえ、マグニチュードと震度階を混同して使用している例がみられた。一方地震発生状況や高度な専門知識は、web上で広く情報公開されているのが特徴であり、市民と専門家との格差が大きい。

一方バンクーバーで想定されている地震動の大きさが小さいことから建物被害も小さいことが予想されるため、本調査の当初の目的を修正した。日本では建物オーナーのイメージをそのまま抽出し定量評価を行い、大地震に対する目標安全性指標を確率的指標 $\beta$ で表したが、バンクーバー調査では既存建物の安全性レベルについて大まかな情報を与えた上で、現在使用している建物の望まし

い安全性レベルを定量的に回答してもらった。そのため情報が与えられた上でどのような意思決定がなされるかを把握することを目的とした。また、現在バンクーバー市民が関心を寄せているのが学校の耐震改修計画である。そこで市民の要望の建物用途による差異を比較する問題も挿入した。

#### § 5 バンクーバー市民の安全意識

##### 5.1 地震に対する危機感と震度・被害予測

生命にかかわるリスクとして大地震は軽視されており、火災や大気汚染よりも優先度合いが低い（図2）。バンクーバーに生じる大地震の震度を予測してもらった回答と、自宅の被害予想（建物コストに対する金銭損失率で評価）を図3に示す。このような地震被害の金銭損失率での評価はATC-13に用いられており、複数の研究がこの評価方法を採用している<sup>6)</sup>。図3の被害想定回答分布は正規分布に近い。また震度階はMMIであり、その関係はMMIⅦ～Ⅷが旧気象庁震度階Ⅴ、MMIⅨ～Ⅹが旧震度Ⅵという関係にある。

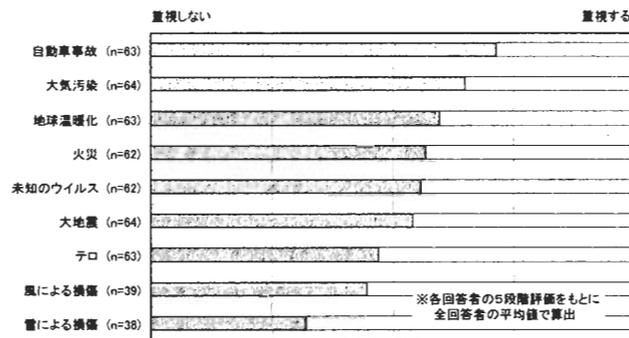


図2 重視するリスク

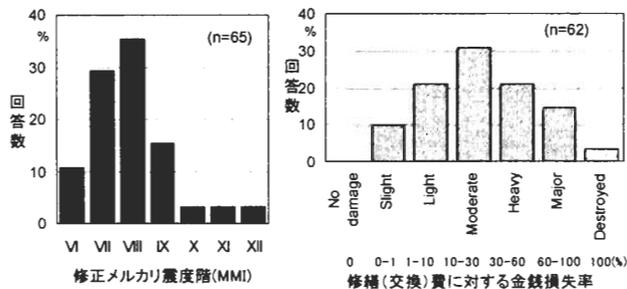


図3 想定地震の震度階とそれに対する被害予想

またさらに市民が大地震の再現期間と自宅の被害の関係をどのように予測しているかについて表2にまとめた。色の濃い箇所が回答の集中している部分である。ここから震度Ⅷの地震により自宅の被害が中程度（10-30%）

表2 予測震度と自宅に予想される被害

		Expected Damage							総計
		No damage	Slight	Light	Moderate	Heavy	Major	Destroyed	
MMI	VI		3	1			2	1	7
	VII		3	8	3	1	1	1	19
	VIII			3	13	3	3	1	23
	IX			1	1	7	1		10
	X				2				2
	X I						2		2
	X II					2			2
総計		0	6	13	19	13	9	2	65

と予測されている場合が多いことが読み取れる。これは主に一戸建て住宅の回答者の傾向に影響を受けている。

またバンクーバーに予想される大地震の再現期間と震度を質問した結果を表3にまとめた。上述のカナダの設計用地震力は再現期間475年（10%超過確率）に該当し、予想震度はVIII程度であるため、回答者の大地震イメージは設計用地震力と比較的一致していることが分かる。

表3 再現期間と震度の予測

		Return period (year)							総計
		50	100	500	1000	2500	10000	others	
MMI	VI	2	1	1				3	7
	VII	1	7	6		2		2	19
	VIII	1	10	6	4	1		1	23
	IX		2	5	1	1	1		10
	X			1				1	2
	X I			1			1		2
	X II	1		1					2
総計		5	20	21	5	4	2	7	65

### 5.2 耐震性向上に対するコスト意識

既存建物のプロトタイプとして3種、木造戸建て、中層RCオフィス、煉瓦造(Unreinforcement)学校を選定した。性能とコストに関する統計的研究結果を得にくいため、BC州の安全性評価に関するKJ法に基づく先行研究<sup>7)</sup>を用いて、著名な構造設計者6名に調査を実施し、各震度のMDF (Mean Damage Factor) 評価と耐震性能上昇に必要なコストをインタビューした。この結果を回答者に提示した上で、耐震性向上に対するコスト意識を質問した(図4)。専門家調査から、被害をおおよそ0に近づけるために必要なコストを建設費に対して住宅8%、中層RCオフィス20%、煉瓦造学校30%の建替費用と仮定した。建設年代は旧基準で危険な1990年以前と仮定、回答者は自ら使用している建物を想定した。

コストを支払ってでもレベルを引き上げたいのは学校、僅差で住宅であった。オフィスの場合、現在バンクーバー中心部に多い構造形式はRC(高層)で、低層では耐力

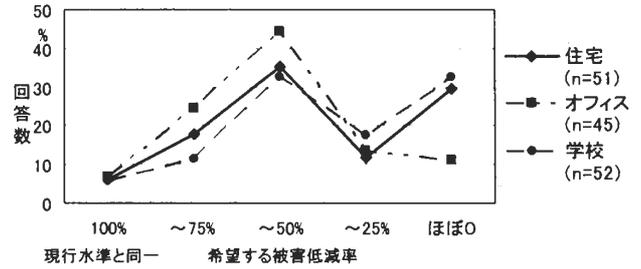


図4 市民の要望する耐震安全性レベル

壁がブロック造のものも多い。

### 5.3 建築規準に望む耐震安全性

建築規準が人命確保についてより安全になってほしいとの要望があることが分かった(図5)。ユーザーの責任については自己責任を認める意見が多数で、積極的に安全性にかかわる必要があることを認めている。

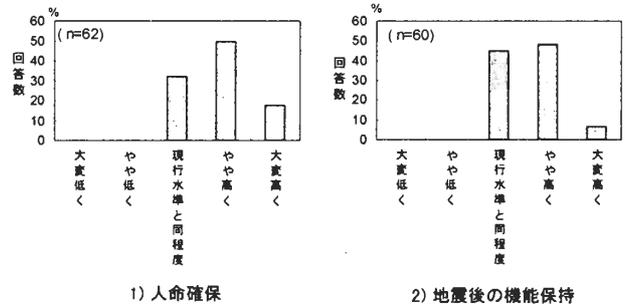


図5 建築規定レベルに対する要望

### 5.4 目標耐震性安全性レベルの要望とコスト意識

今後住宅を建てるならば木造戸建てが希望されている(52%)。目標レベルの要望と性能の上昇に伴うコストの関係を図6に示す。ベースシア係数を30%アップするのに必要なトータル金額は専門家インタビューから概算した。耐震性向上コストの少ないバンクーバーでは、住宅コストの2%程度の金額を支出すれば、現在の安全性レベルのおおよそ30%上昇が可能である。この関係からは10%程度のコストを支出すれば2倍以上の安全性レベルが確保できる計算である。

これに対して回答者のコスト意識額の上限は110%程度と言える。図7に日本での調査結果を示す<sup>1)</sup>。日本の調査結果でも市民の大半は標準的な住宅コストの10%増し程度までを希望しており、バンクーバーでも同程度を上限としている。日本調査、カナダ調査とも自宅を新築する場合を想定して回答したものである。

### 5.5 耐震安全性レベルに対する市民の意識の特徴

日本調査と同じような傾向がみられたのは住宅の耐震

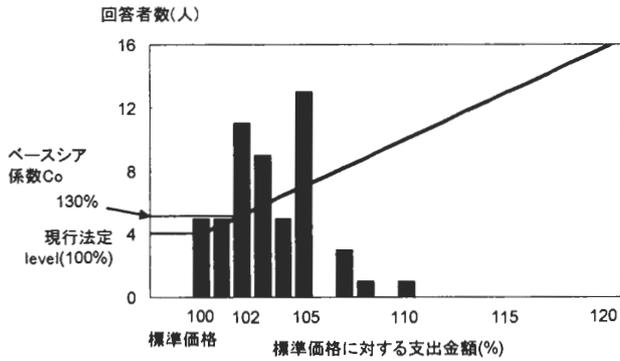


図6 市民が自宅に望む目標レベルとコスト意識

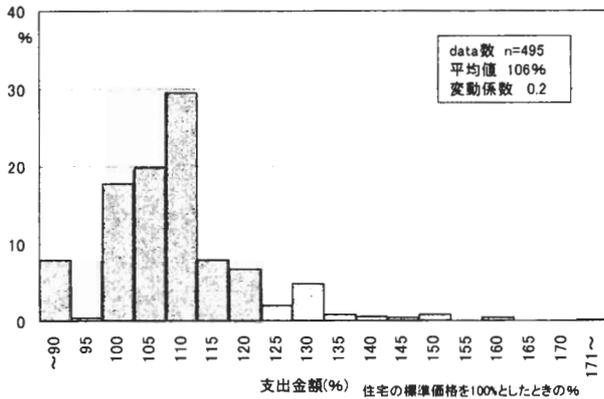


図7 日本の市民が自宅の耐震性に支出するコスト

安全性レベルに支出する金額の回答であった。日本同様、安全性のレベル決定に関するユーザーの自己責任についても自己責任を認識する回答が多くなっている（図8）。

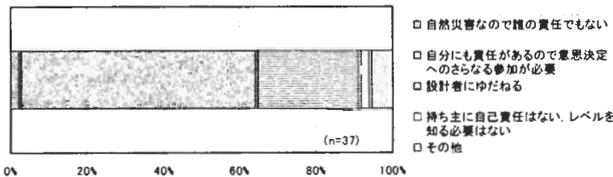


図8 ホーム・オーナーの自己責任に対する意識

一方、日本調査と異なる傾向を示したのは、図9の安全性レベルと価格の関係に対する認識である。

### § 6 おわりに

バンクーバー調査は小規模にとどまったが、市民の地震に対する日頃の危機感が低いにもかかわらず、耐震性向上に関するコストを支払ってでも、安全性レベルのやや上昇、さらには規準の強化を望んでいることが分かった。全般的に日本人の意識と大差はなく、市民はより高い安全性を欲しているが、日頃の危機感は薄く、大地震を意識して住宅などの購入を行っていないという現状に

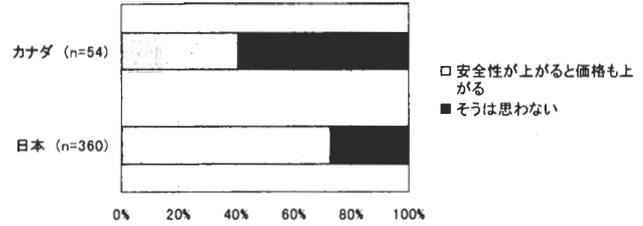


図9 コストと安全性に関する意識—国ごとの違い

ある。このような低い危機意識を変えていくには、市民の自主的な意識変革を待っているよりもむしろ、何らかの誘導や対策が必要である。特に日本の地震リスクはバンクーバーに比べてはるかに高く、逆に地震に関する知識・経験をもつ国民であり、情報伝達や防災対策の進んだ日本でもどのように意識を変えていくかが問われている。

### 【謝辞】

アンケート調査にご協力戴いたVancouver在住の回答者各位、The University of British ColumbiaのProfessor Emeritus Dr. Robert. G. Sexsmith およびAssistant Professor Dr. Terje. Haukaasの共同研究者に深謝する。なお、Prof. Emeritus R.O.Foschi, Prof. C.E.Ventura, Prof. K.Elwood等にも多くの助言を得た。記して感謝する次第である。

### 【引用文献】

- 1) 平田京子, 石川孝重: 社会的に要求される耐震安全性レベルの確率論的評価—ユーザーの要望をふまえた性能設計の構築に向けて—, 日本建築学会構造系論文集, 第543号, pp. 23~29, 2001年5月。
- 2) 平田京子, 石川孝重: 市民意識調査にみる耐震安全性レベルに関する研究—その1 カナダ・バンクーバーにおける意識調査から—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)(構造I), pp. 75~76, 2005年9月。
- 3) Kyoko Hirata, Takashige Ishikawa, R.G.Sexsmith, T. Haukaas: Evaluation of Target Seismic Safety Level and Safety Consciousness from User Surveys, 9th International Conference on Structural Safety and Reliability, Rome, pp.3335-3342, June 2005.
- 4) Geological Survey of Canada: 2005 Seismic Hazard Map, [http://www.pgc.nrcan.gc.ca/seismo/eqhaz/2005-haz\\_intro.htm](http://www.pgc.nrcan.gc.ca/seismo/eqhaz/2005-haz_intro.htm).
- 5) National Building Code of Canada, National Research Council, Ottawa, Canada, 1995. (& Commentary)
- 6) Earthquake Damage Evaluation for California, Applied Technology Council, ATC-13, CA, 1985.
- 7) T. Onur: Seismic risk assessment in southwestern British Columbia, Doctoral Thesis of the Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, 2001.
- 8) 平田京子: 一般居住者が要望する構造安全性レベルに関する信頼性理論に基づくアンケート, 日本女子大学大学院紀要 家政学研究科・人間生活学研究科, 第4号, pp. 69~76, 1998年。

\*1 日本女子大学住居学科 助教授・博士(学術)

\*2 日本女子大学住居学科 教授・工学博士