

総合都市研究 第23号 1984

1855年安政江戸地震における 関東地方の震度分布に関する研究

望月 利男* 荏本 孝久**

要 約

安政2年10月2日(1855年11月11日)に発生した安政江戸地震(M=6.9)は、当時の江戸府内(現在の東京都)の直下に震源があったとされる中規模な内陸直下型地震であった。そのために江戸府内を中心に多大の被害が発生した。本研究では、これまでに調査研究された結果をふまえ、新しく発見された資料を加えて、安政江戸地震の被害を記述した多数の文献資料から関東地方の被害分布と震度分布(M. S. K震度)を明らかにすることとした。また、震源断層モデルと、近年活発に調査研究が実施され多くの有益な情報が得られている関東地方の地下構造を考慮して理論的な計算手法により安政江戸地震の解析的な検討を実施した。

その結果、理論的な計算結果は計算過程上の精度に考慮すべき問題を含んでいると思われるが、実際の被害分布から判定された震度分布と比較的よく対応する傾向が認められた。

このことは、本研究において明らかとなった安政江戸地震における関東地方の震度分布ならびに解析的な計算手法が、今後の地震防災を検討する際や入力地震動特性を検討する際に有益な情報を与えてくれるものと思われる。

1 はじめに

地震災害を対象として減災あるいは防災対策を検討するためには地震の特徴や地震動特性に関する基本的な理解が一つの重要な課題であろう。このような理解は、地震の発生メカニズムや各種の観測記録等のデータが蓄積されれば著しく進展するものと思われる。一方、過去に発生した歴史的な被害地震の被害事例(住家被害や墓石転倒・液状化現象など)は、上記のような計器観測による直接的な情報とは別に極めて有益な地震(地震動)に関する情報を提供していることも事実であ

ろう。特に過去に発生した地震において震源に比較的近い被災地域内のややマイクロ震度分布については、現在この種の資料に基づく情報を期待する以外に手段は全く望めないであろうと言っても過言ではないように思われる。従って、歴史的な被害地震の調査研究の意義は大きく、特に大都市における、この種の研究の必要性は、その防災対策の緊急性という観点から考えれば極めて重要であろう。

本研究では、以上の観点から安政江戸地震における関東地方の被害分布および震度分布に着目し若干の検討を実施した。特に本研究では、これまでの既往の調査研究結果を踏まえて新資料も加え

*東京都立大学都市研究センター

**神奈川大学工学部

て江戸府内ならびに街道沿いの宿場町およびその近隣の村々の詳しい被害分布を検討し、その結果から関東地方全般の震度分布の推定を試みた。一方、関東地方を対象として近年、活発に実施されている種々の地下構造探査の結果を参照として推定された地下構造モデルならびに断層モデルを用いて理論計算に基づく解析的な検討を実施し両者の比較を試みた。本研究の概略の流れを図-1に示す。

1855年安政江戸地震における関東地方の震度分布

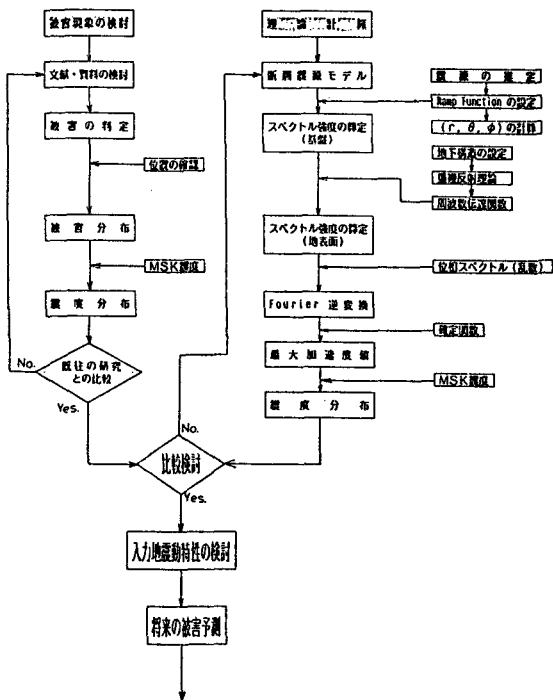


図-1 流れ図

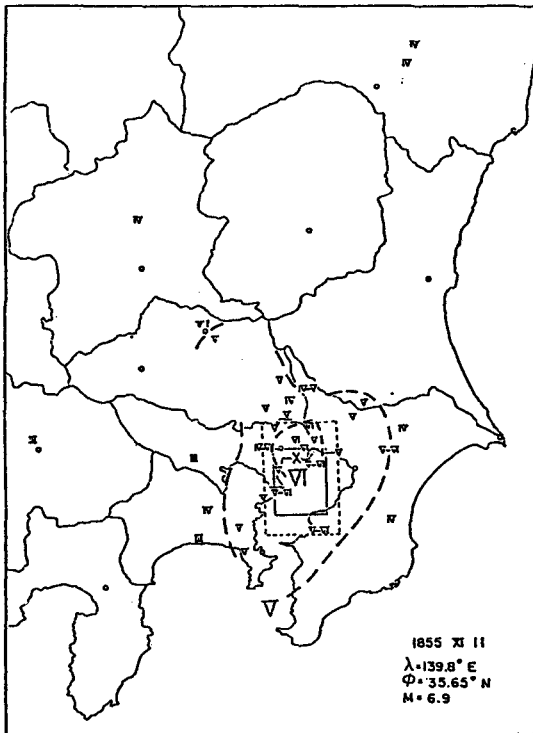
これらの結果は、今後の地震防災ならびに震源から観測点に至る一面の要因を考慮した地震動特性に関する基礎的かつ有益な情報を与えるものと考えられる。

2 安政江戸地震に関する既往の研究

安政江戸地震に関する既往の調査の結果から、本地震は安政2年10月2日の亥の刻(1855年11月

11日午後10時頃)に発生し、現在の東京都の直下に震源をもつ中規模な内陸性直下型地震であったとされている。地震の規模はマグニチュード(M)6.9で、震源は荒川河口付近とされ推定され、地震断層は、ほぼ亀戸と亀有を結ぶ線に対応すると考えられている。また、震源の深さは30~50km程度と推定されている。幕末期を向えた当時の江戸の町は非常に発達した都市を形成し、武家地を中心に寺社地・町人地に分かれ、特に町人地における町屋は極めて密集した脆弱な市街地を形成していた。本地震による江戸府内の被害については、壊家焼失14,346棟、町人の死者数約4,000人、出火地点約30ヶ所所で焼失面積は2.3km²とされ、江戸の町を中心に極めて壊滅的な被害が発生した。

また、近代安政江戸地震による被害については佐山が主に旧東京市域について多くの古文書に基づく資料から、その被害記述を分析して江戸府内について詳細に被害状況を検討し、国際震度階(M. S. K震度)を用いて震度分布を示した。また、火災の発生場所や焼失地域ならびに死者の分布についても調査結果を示している。一方、望月・宮野(1977)は旧東京市域内の町屋の被害に着目して被害の検討を実施している。その結果、本地震による被害については単に地盤の差異だけではなく震源からの距離の影響も著しいことを指摘している。また、宇差美(1976)は更に多くの資料を加えて江戸の周辺地域に対しても各地の震度分布(J. M. A震度)を示している。その結果、特筆すべきことは、従来の結果に比べ、(i)千葉県に被害が大きく、特に木更津では土蔵の被害が大きいこと。(ii)東京湾沿岸と荒川流域で震度が大きいこと。(iii)厚木・藤沢を結ぶ線以西では被害がないことを報告している。そして、推定される震度分布として図-2を示した。これは従来の震度分布図に比べ、震度V(J. M. A震度)の等深度線がかなり精確に引け、その等深度線は荒川沿いに北西に延びているとしている。また、規模および震源に関して、震度Vおよび震度VIの地域の平均半径に基づいて従来より規模はM6.9とされているが、その値を特に変更する必要はないと報告している。また、被害等級により考えられる



図一 2 安政 2 年 10 月 2 日 江戸地震の震度分布 (宇佐美, 1976 による)

震源の深さは40km以下で、東京湾中央部に位置する定常的な地震の巣を考慮すれば約50km程度と推定される。また、震央の位置は、従来考えられていた東京湾北部の亀戸・亀有付近とは確定できず、むしろそれより南にあると考えられ、存在の可能性のある範囲として図一 2 中の矩形を示し、点線の矩形は安全を見た場合で、安政江戸地震の震央は、この外に出ることはなく、更に、大胆な推定をすれば実線の矩形になるとしている。何れの場合も、とくに東西の限界はきめにくく、結局は震度分布図からの推定となると報告している。

3 江戸府内の被害分布および震度分布

安政 2 年 (1855 年) 当時の江戸府内は武家地・寺社地・町人地の三住区が総合されており、その範囲は概ね東限が本所・深川、西限が四谷大木戸・板橋、南限が品川そして北限が千住周辺とさ

れている。面積は約56.365km² (明治 2 年調査) で、そのうち38.653km² (68.6%) が武家地、8.799km² (15.8%) が町人地とされ、概算人口は約130万人で武家地65万人、寺社地約 5 万人、寺社地は5,682人/km²で町人地が67,317人/km²で町人地においては極めて密集した市街地を形成していた。上記の範囲に含まれる地域の土地利用状況は正井 (1975) によって作成された「江戸の都市的土地利用図」に詳細に示されている。同図によれば江戸城を中心として、大名の上屋敷が並び、次いで中屋敷・下屋敷および寺社地が分布し、更に一般武家屋敷が分布している。町人地は神田周辺・日本橋通り・銀座・両国・浅草および深川と各街道沿いの限られた地域に分布している状況が明瞭である。一方、当時の江戸の明細地図として江戸切絵図が出版されて一般に利用されていた。これによれば各地域の町名ならびに大名の上中下屋敷ならびに一般武家敷・神社・寺院の個々の位置がより詳細に明確となる。

本研究では上記の 2 種の地図を利用してこれまでに調査された安政江戸地震の被害記述の文献と新たに発見された資料に基づいて江戸府内の被害分布を詳細に検討することとした。被害の記述は、個々の屋敷あるいは町毎に、主に住居・土蔵・門・壁・石垣等の建物および構造物の被害記述に着目し各資料により概ね次のような 5 区分に分類した。

分類	被害記述
1. 全 壊 :	皆潰れ、ほとんど潰れ、潰れ
2. 大 破 :	潰れ多し、所々潰れ、大損す
3. 中 破 :	半潰れ、所々損す、損す
4. 小 破 :	少々損す、小損す
5. 無被害 :	損し所なし、無別条

上記の被害程度は概ね全壊が50%程度以上が倒壊、ほぼ100%の建物に被害が及ぶ場合、大破が30%程度倒壊し50%程度の建物に被害が発生する。中破が10%程度倒壊し30%程度の建物に被害が発生する。小破では10%程度の建物に被害が発生する程度を基準とし設定した。上記被害程度を各資料毎に判定し、まず切絵図よりその位置を確

認して記号分けを行い、各資料によって同様の作業を行い、最終的に全資料より結果より総合的に判

断して被害分布をまとめた。その結果を前述の「都市的土地利用図」を用いて変換した。

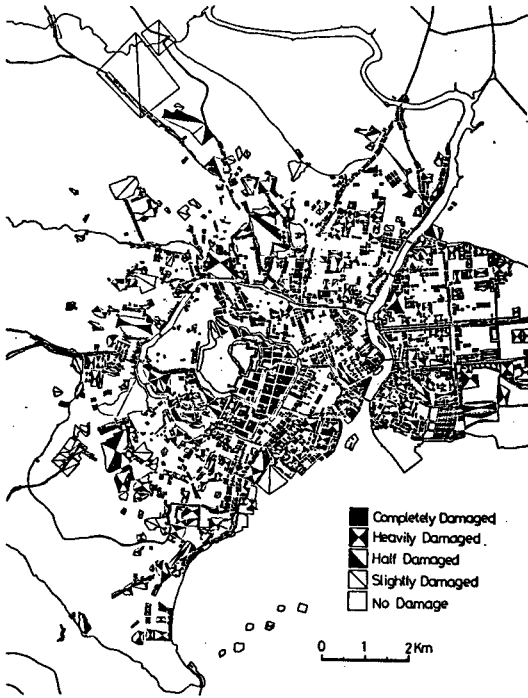


図-3 江戸府内の被害分布

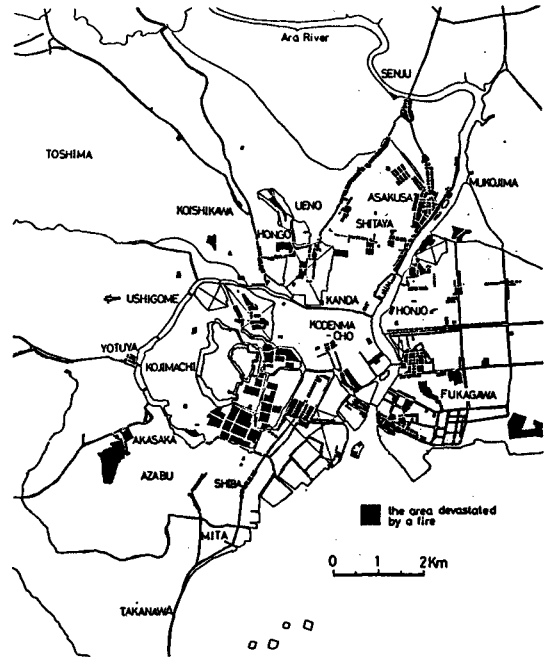


図-4 江戸府内の焼失範囲

江戸府内の被害分布に関する結果を図-3に示す。同様に焼失地域についても検討し結果を図-4に示す。また、この結果から、表-1に示す佐山が用いた国際震度階に基づいて被害分布から各地区毎に震度を判定した。震度分布の結果を図-5に示す。図より、震度分布の高い地域は、これまでの調査結果と同様に本所・深川・浅草・丸の内・浜町・箱崎・築地周辺で、逆に番町・麴町・駿河台・赤坂・白金・下目黒周辺が低く、相対的に低地の方が台地より震度が高く明瞭な差異が見られる。また、東部の地区ほど震度が高い傾向が見られる。一方、同図の震度分布によれば丸の内から三田に致る東海道筋でこれまでの結果よりやや高い震度を示す傾向が認められた。

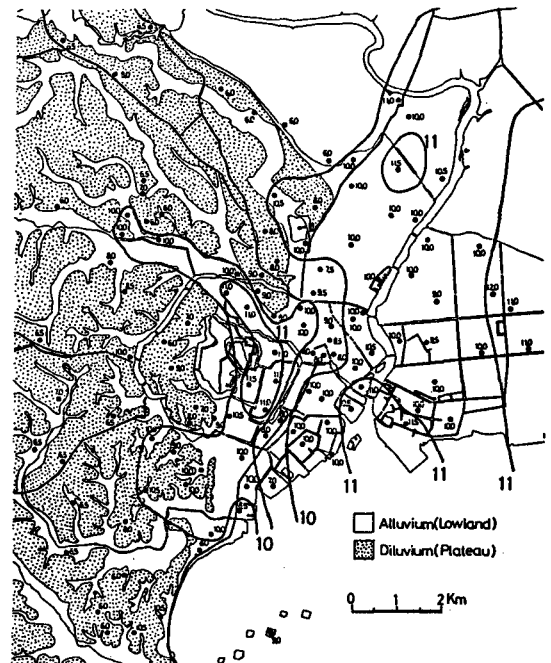


図-5 江戸府内の震度分布

表-1 震度決定資料(佐山, 1973 による)

気象庁震度階加 速度	I 震 0.25 gal		II 震 0.8		III 震 2.5		IV 中 8		V 中 25		VI 中 80 gal		VII 震 250		VIII 震 800	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
人の感じ	地盤だけで知る															
入々の感じ	無	感	敏感の人が揺かに建物の1階の人にあたる。地震かなと思つた。時に目まいや頭昏の如くに感じることがあり。	静止している人多く震動方向や程度が分る	屋内の人大部分に揺れる。屋外の人少く揺れる。	屋内の人全部分に揺れる。屋外の人多く揺れる。揺れ幅も異なる。歩行者の中の人少く揺れる。	全ての人に感ずる	直立困難に感じる								
眠っている人					軽く眠っている人が目覚む	眠っている人の大部分が目覚む	眠っている人全てが目覚む									
入々の態度					少しの人がおどろく	戸外に逃げ出す者あり。かなりの人驚く	多くの人戸外に逃げる。戸外に逃げ出す者あり。かなりの人驚く	全ての人戸外に逃げる	恐怖に近い	大恐怖						
花や木等			花壇の花や枝が揺れる		木や草の枝が揺れる	木や草の枝が大きく揺れる	木や草の枝が大きく揺れる	木の幹も動く			樹木が折れたり折れやすくなる	林や木の作物が揺れたりする				
池の水や池田の水			池の水が少し揺れる		池の水が少し揺れる	池の水が少し揺れる	池の水が少し揺れる	池の水が揺れる			池や湖の水が揺れて岸を襲う	池や湖の水が揺れて岸を襲う				
家財家具等					食器が倒れる。器が音を立てる	同じくかなり音を立てる。不安定な花瓶や飾り物やガラス器等少しこわれるものもある	家財家具など倒れる。器が音を立てる。不安定な花瓶や飾り物やガラス器等少しこわれるものもある	解りのよい家財家具等がある	非常に割りのよい重いものも移動したりする							
襦 袢 の 物					襦袢が落ちる	襦袢が落ちる	襦袢が落ちる	襦袢が落ちる								
絵や額等					ゆれる	ゆれる	ゆれる	ゆれる								
木造家				天井や床がさしむ	建物全体が動揺する	窓ガラスが割れる。柱が揺れる。天井が落ちる。	窓ガラスが割れる。柱が揺れる。天井が落ちる。	柱が揺れる。天井が落ちる。	柱が揺れる。天井が落ちる。	柱が揺れる。天井が落ちる。	木造家建物の多くが揺れる。一部が倒れる。	木造家50-60%が倒れる	木造家30%が倒れる			
古い又は悪い家						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
普通の家						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
耐震的な家						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
戸障子等			揺かに動く	戸障子が揺れる	戸障子が揺れる	戸障子が揺れる	戸障子が揺れる	戸障子が揺れる	戸障子が揺れる	戸障子が揺れる	戸障子が揺れる	戸障子が揺れる	戸障子が揺れる			
壁					古い悪い壁など落ちるものあり	天井の漆喰や壁土が落ちる	天井の漆喰や壁土が落ちる	天井の漆喰や壁土が落ちる	天井の漆喰や壁土が落ちる	天井の漆喰や壁土が落ちる	天井の漆喰や壁土が落ちる	天井の漆喰や壁土が落ちる	天井の漆喰や壁土が落ちる			
瓦						動くものあり	動くものあり	動くものあり	動くものあり	動くものあり	動くものあり	動くものあり	動くものあり			
土 蔵						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
煉瓦や石造の建物						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
煙突いぼ等						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
石 灯 籠						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
墓 石						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
錠前・扉・溝型等						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
石 皿						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
地 家						傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり	傾くものあり			
死 傷 者						負傷者も出る	負傷者も出る	負傷者も出る	負傷者も出る	負傷者も出る	負傷者も出る	負傷者も出る	負傷者も出る			

4 関東地方各地の震度分布

関東地方各地の震度については、これまであまり明確な被害程度を記述した資料がなく、正確な震度分布を推定することが不可能であったと思われる。しかし、幕府は地震後代官所を通して各管割地区内の宿場町や村々に対して家屋・土蔵・死

傷者に関する調査を調達し結果を報告させている。これらの調査結果が関東地方の東京都・埼玉県・神奈川県・千葉県および茨城県の一部にわたって残されている。本研究では、この資料に基づいて表-1の震度階により震度分布を推定することとした。なお、当時の村々の位置については、「武蔵国新編風土記稿」により、その現在位置を確認し地図上にプロットした。結果を図-6に示

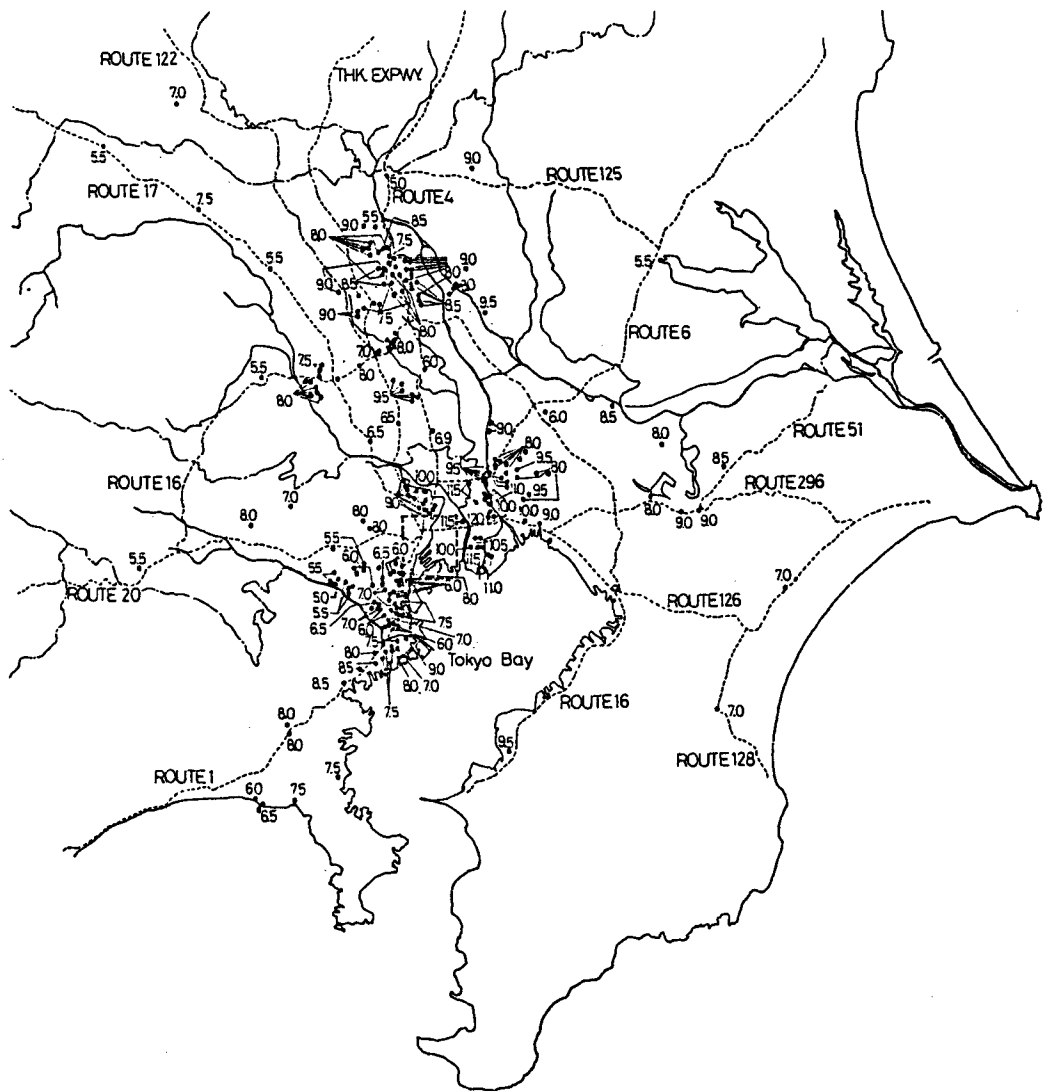


図-6 関東地方各地の震度分布

す。図より、奥州街道・日光街道・中仙道および水戸街道沿いの宿場町ならびに周辺村々の震度分布が推定可能となった。

また、この結果より、関東地方各地に関して等震度線を推定し、結果を図-7に示す。

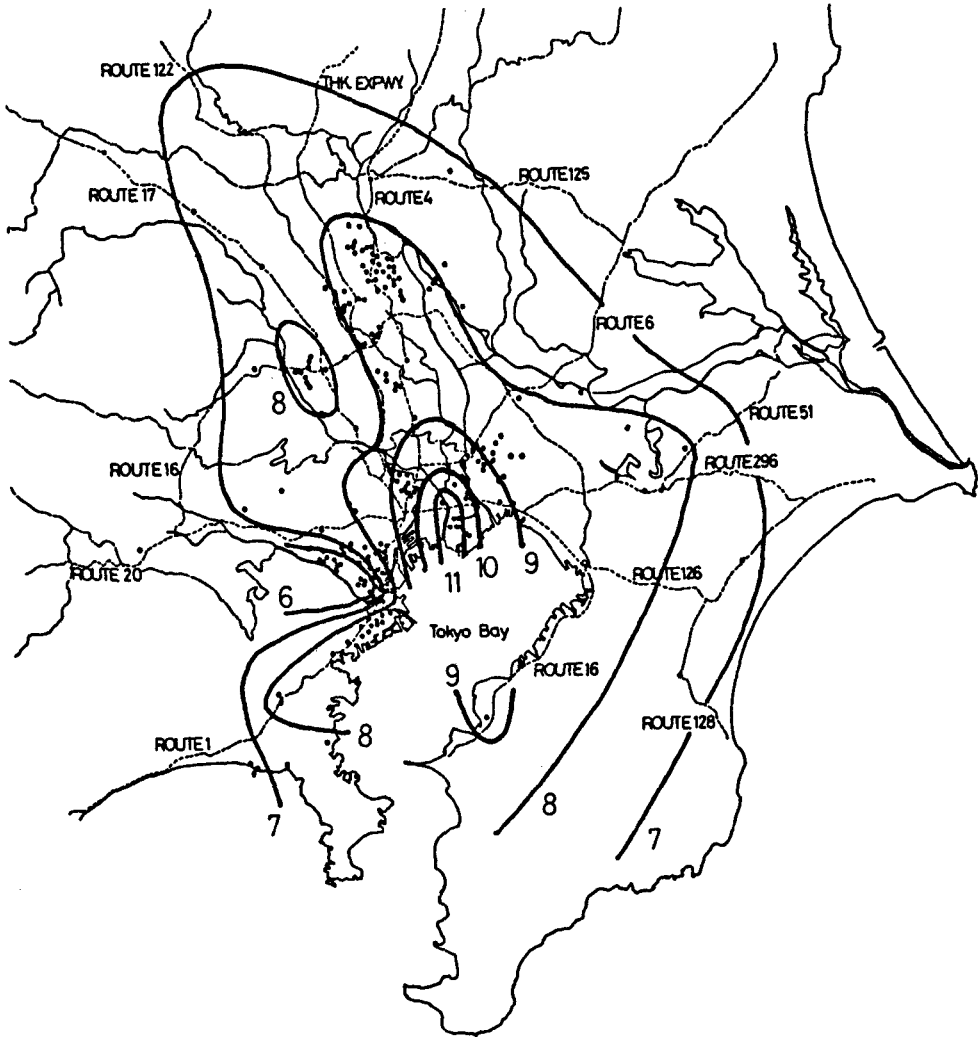


図-7 安政江戸地震における関東地方の等震度線図

なお、ここで得られた地域外の被害に関する資料については、現在得られていない。これは地震による被害が発生しなかったのか、資料が発見されていないのかについては明確ではないが、千葉県北西部の地域を除けば、被害は比較的軽微であったものと推定される。

5 関東地方の地形・地質の概要と震度分布

東京とその周辺に広がる関東平野では第四紀の地層と段丘地形が多く分布する。特に平野を構成

する末固結の第四紀層の厚さは極めて厚く、これらの関東地方の地形・地質については従来よりよく調査研究が進められている。関東地方の地形・地質の概要を図-8に示す。図より、南関東地方

は第四紀の厚い堆積層に覆われており、特に江戸川・荒川・利根川・多摩川流域には最も地質年代の新しい完新統の堆積層(沖積層)が分布している。

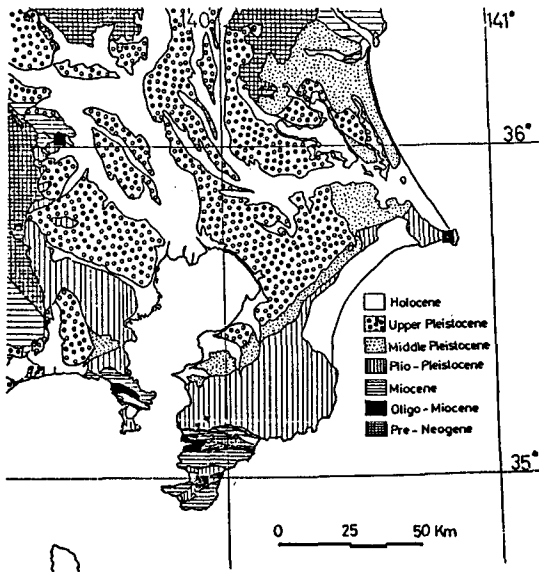
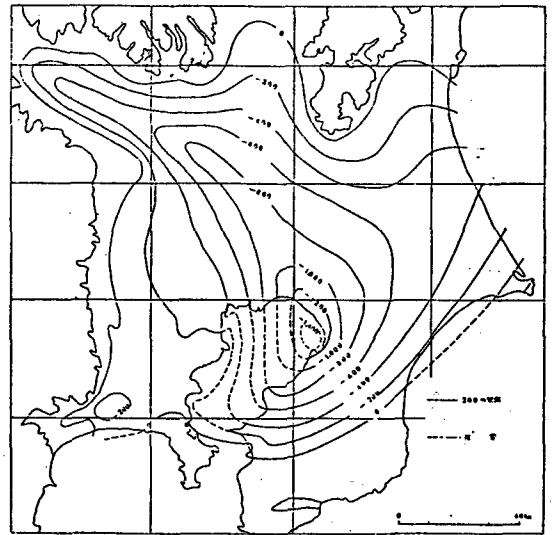


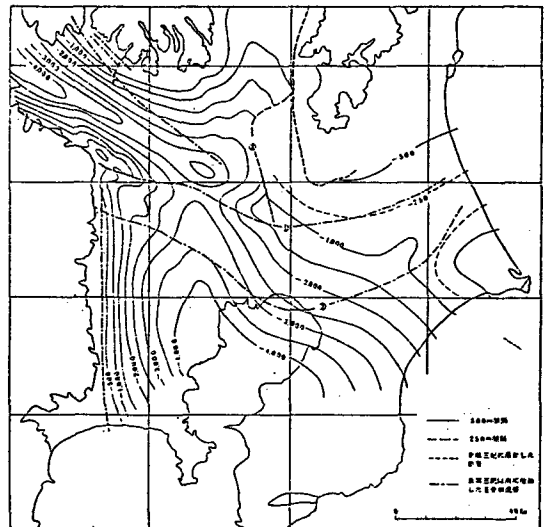
図-8 関東地方の地形・地質の概要



上位層群(U6層群)等高線図 (垣見ほか、1973による)

図-9 第四紀層の基底等深度線図

図-9には第四紀層の基底等深度線図を示す。図より、東京湾奥部の千葉県千葉市付近に最も堆積層の厚い地域があり約1,400mに達し、ここから前橋・高崎方面に北西に延びる大きな盆状構造が認められる。そして、荒川・江戸川流域の地域は600~800mの深さで北西方向に等深線が延びていく明瞭な傾向を示している。一方、関東平野を形成する第四紀およびその下位にあり関東南部の三浦・房総半島の南部の丘陵・山地を形成する新第三紀層に対する基盤岩(新第三紀層以前の岩石)は関東平野の地下深部に存在している。これは、関東地方における基盤層として広く分布し、地震学的基盤に対応するとして考えられており、地形・地質学的にはすでに新第三紀層基底等深度線図として図-10のごとく示されている。



新第三紀層基底面等高線図 (垣見ほか、1973による)

図-10 新第三紀層基底等深度線図

以上の結果により、関東地方の地形・地質の概要が理解され、先に図-7で示した安政江戸地震等震度線図による震度分布の傾向は、上述の第四

紀層の基底等深度線図の傾向と比較的良好対応を示している。すなわち、震度8～7の等震度線が前述したごとく荒川・江戸川流域の地質年代の最も新しい地域ならびに第四紀の基底等深度線に調和的な震度分布を示している。

また、これらの結果より、安政江戸地震の震源ならびに震度分布についても概略的な傾向が明確となった。すなわち、震源については宇差美により示された調査結果と同様に東京湾中央部の範囲（図-2の矩形内に対応する地域）に存在するものと考えられること。また、最も大きな震度11および10の分布傾向は、これまでと同様に江戸川河口の亀戸・亀有付近に存在し、震源および震源断層の方向の影響と地盤構造等の影響によるものと思われるが震度分布は南北方向に長く分布し、特に荒川流域に沿って北西方向に比較的大きな震度分布が延長する傾向を示している。また、震度分布の南北方向の延長線上に位置する千葉県木更津市においても比較的大きな震度の大きい地域が認められた。

6 関東地方の地下構造の推定

関東地方を対象とした場合、地下構造に関する調査研究は、近年、その重要性から地震学や地形・地質学的側面からあるいは物理探査法等により比較的多数実施されている。図-11は、関東地方における既往の地下構造探査の測線ならびに深井戸等の地下深部ボーリングの調査地点の概要を示している。図より関東地方を対象とした場合、これらの調査は比較的多数実施され、ほぼ南関東地方平野部の全域をカバーしている。そして、各々の測線上あるいは測点での地下構造が推定されている。

本研究では、これらの調査結果を総括的にまとめ、前節で述べられた関東地方の地形・地質の概要ならびに地質学的な年代区分における第四紀層および新第三紀層の基底等深線図等を参考として、ややマクロな観点から概略的な地下構造について考察することとし、更には別途報告されているブーゲ異常図も地下構造の平面的なコンターを

示す情報として利用することにした。推定された地震学的基盤（ $V_s \approx 3.0\text{km/s}$ 、 $V_p \approx 6.0\text{km/s}$ 程度の岩盤）の等深度線図を図-12に示した。一

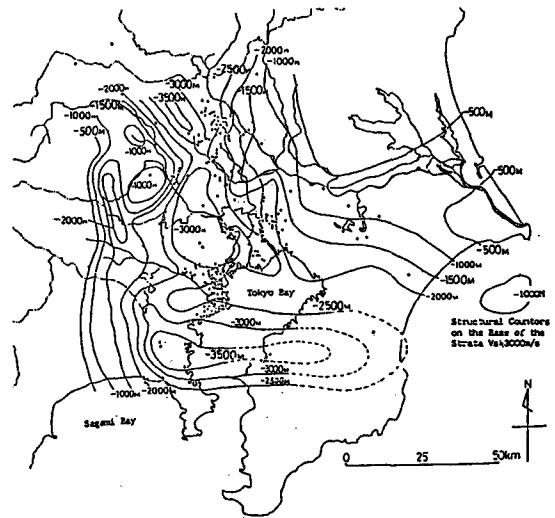


図-12 地震学的基盤の等深度線図

方、より上層の地盤構造としては、図-9に示す前述の地質学的な第四紀層の基底等深線図を参照することとした。結果を図-13に示す。

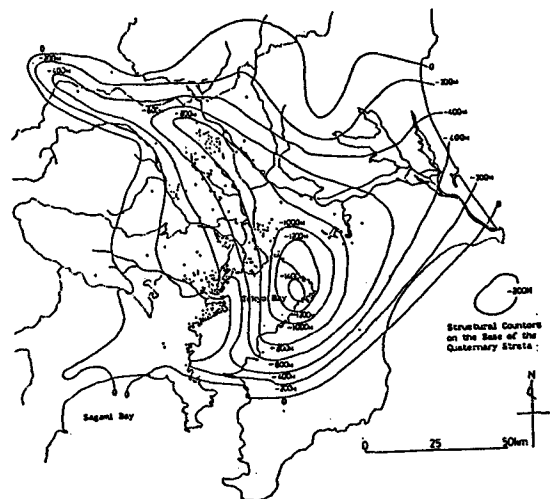
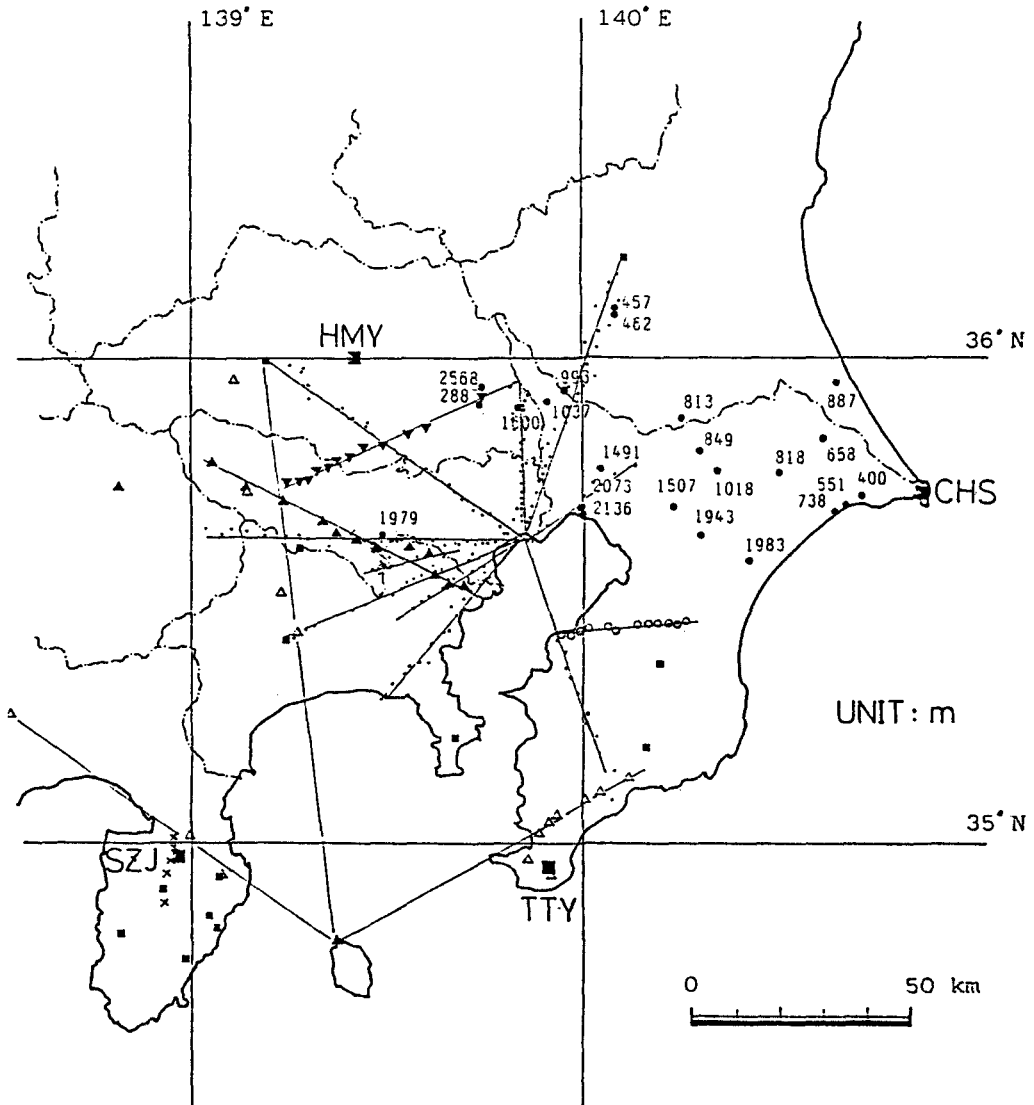


図-13 第四紀層の基底等深度線図



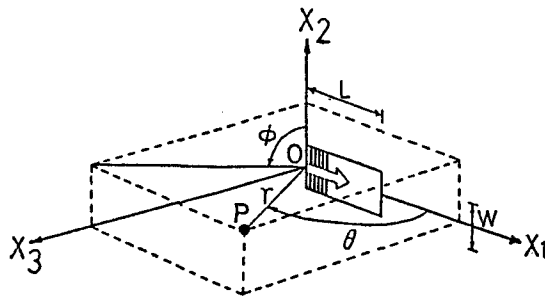
- : アレー観測網
- : 東大地震研究所による地震観測点
- : 基盤に達した深層ボーリング孔 (数値は基盤までの深さ)
- : 夢の島爆破実験における観測点 (首都圏基盤構造研究グループ他)
- ▲ : 扇島爆破実験における観測点 (地質調査所他)
- ▼ : 東京西部地区爆破実験における観測点 (関東平野地下構造研究グループ)
- △ : 地震波速度変化研究グループによる観測点 (大島・館山爆破実験における観測点)
- × : 伊豆大島近海地震 (1978) の余震観測点 (東大地震研究所)
- : 千葉県袖ヶ浦、真名爆破実験における観測点 (東大地震研究所)

図-11 関東地方を対象とした地下構造探査の概要

以上の結果により、関東地方の地下構造は複雑な構造を示すが、地表面下数10m程度の極く表層の地盤性状（特に沖積層）を除けば概略的な地下構造が把握できるものと思われる。そして、前述したごとく安政江戸地震による関東地方の震度分布の等震度線図（図-7）は、第四紀層の基底等深度線図（図-13）に調和的である傾向が認められる。

7 震源断層モデルと地震動のシミュレーション

本研究では、安政江戸地震の震源および震度分布について解析的な検討を実施するために震源断層モデルを用いた理論的な計算手法を採用して検討を加えることとした。断層モデルは図-14に示



Fourier Amplitude Spectrum

$$\ddot{U}(\omega) = R(\theta, \Phi, r) \cdot \mu L W D \cdot (G(\omega) \cdot \omega^2) \cdot (F(\omega, \xi, \eta) \cdot \omega) \cdot \exp\left[-\frac{\omega r}{2Q\beta}\right]$$

< Strike Slip >

$$P\text{-wave} : R(\theta, \Phi, r) = (e_r \cdot \sin 2\theta \cdot \sin \Phi) / (4\pi\beta^3 \rho r)$$

$$S\text{-wave} : R(\theta, \Phi, r) = (e_\theta \cdot \cos 2\theta \cdot \sin \Phi + e_\omega \cdot \cos \theta \cdot \cos \Phi) / (4\pi\beta^3 \rho r)$$

< Dip Slip >

$$P\text{-wave} : R(\theta, \Phi, r) = (e_r \cdot \sin^2 \theta \cdot \sin 2\Phi) / (4\pi\beta^3 \rho r)$$

$$S\text{-wave} : R(\theta, \Phi, r) = (e_\theta \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \sin 2\Phi + e_\omega \cdot \sin \theta \cdot \cos 2\Phi) / (4\pi\beta^3 \rho r)$$

Uni-Lateral & Uni-Directional

$$F(\omega, \xi) = L \cdot \frac{\sin\left(\frac{\omega\xi}{2}\right)L}{\left(\frac{\omega\xi}{2}\right)L} \cdot e^{-i\left(\frac{\omega\xi}{2}\right)L}$$

$$\xi = \frac{1}{c_{11}} - \frac{\cos \theta_1}{\beta}$$

図-14 震源断層モデル

す Haskell の Smoothed Rupture Model を用いて計算し、関東地方の地下構造は図-12および図-13を参照して計算すべき地点の地下構造をすべて図-15に示すような3層構造と仮定した。これらは

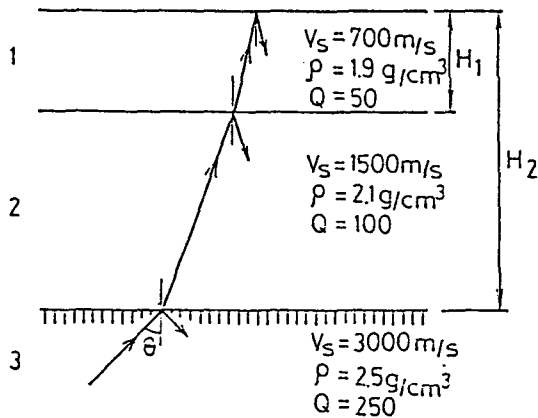


図-15 地下構造モデル

先に述べた第四紀層基底等深線図や地震学的基盤の等深線図を参考として3層構造した。

一方、Haskell の震源断層モデルを用いれば、任意の地点Pにおける基盤（地震学的基盤に対応する）での地震動のスペクトル特性は Savage により図-14に示される算定式で計算される。また、本研究では断層のくい違いの時間関数 $g(t)$ として、図-16に示すような3タイプを仮定し計算を実施することとした。ここで上述の震源断層モデルにより算定される基盤でのスペクトル特性について若干の計算結果とその傾向について触れておく。図-17は $M = 7.0$ として平均的な大きさの断層モデルを設定した場合に、震源Oと任意の地点Pとの相対的な位置関係を示す r, θ, ϕ をパラメトリックに変化させた場合の各地点のスペクトル特性の例 ($r = 50$ km, $\theta = 0^\circ \sim 180^\circ$ ($\Delta\theta = 20^\circ$), $\phi = 50^\circ$) であり、(a)は Ramp Function が TYPE-A であり、(b)は TYPE-B で(c)が TYPE-C の場合である。図より計算されたスペ

TYPE	形状	くい違いの時間関数	Fourier変換形
A		$g(t) = \begin{cases} 0 & : t < 0 \\ t/\tau & : 0 \leq t \leq \tau \\ 1 & : \tau < t \end{cases}$	$G(\omega) = \frac{2}{\omega^2 \tau} \cdot \sin\left(\frac{\omega \tau}{2}\right)$
B		$g(t) = \begin{cases} 0 & : t < 0 \\ 1 - \exp(-t/\tau) & : t \geq \tau \end{cases}$	$G(\omega) = \left[\omega (1 + \omega^2 \tau^2)^{-1/2} \right]^{-1}$
C		$g(t) = \begin{cases} 0 & : t < 0 \\ \left[t - \left(\frac{\tau}{2n\pi} \right) \sin\left(\frac{2n\pi t}{\tau} \right) \right] \cdot \tau^{-1} & : 0 \leq t \leq \tau \\ 1 & : t > \tau \end{cases} \quad n=3$	$G(\omega) = \frac{2}{\omega^2 \tau} \left[1 - \left(\frac{\omega \tau}{2n\pi} \right)^2 \right]^{-1} \cdot \sin\left(\frac{\omega \tau}{2}\right)$

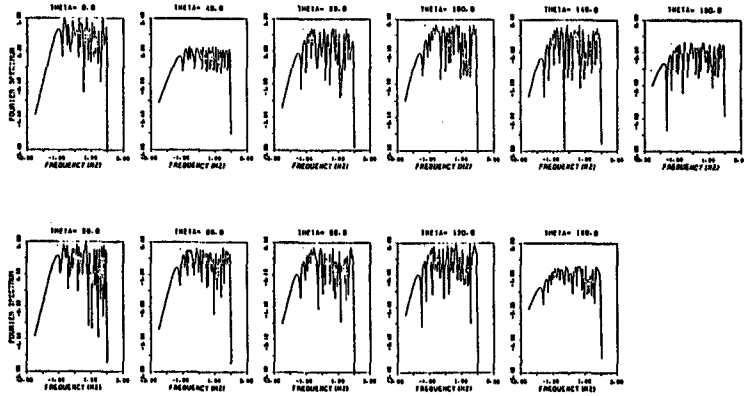
図-16 仮定したくい違いの時間関数

クトル特性は各々のパラメーターにより相違する傾向が認められる。また、図-18は、スペクトル振幅の最大値を θ, ϕ をパラメーターとして図示したものであり、振幅方位分布 (Radiation

Pattern) に対応するものである。図より θ, ϕ の値によりスペクトルの振幅最大値は著しく変化する傾向が認められる。また、ここで仮定した3タイプのくい違いの時間関数においてはスペクト

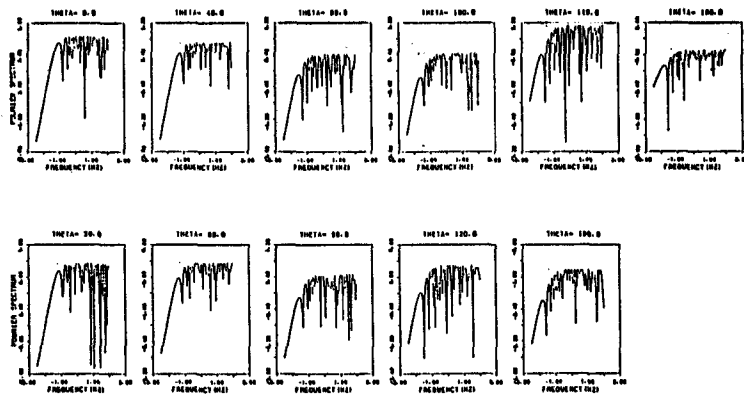
(a) RAMP FUNCTION TYPE-A (UNILATERAL)

H = 7.0
 R = 50.0 (KH)
 FAI = 50.0 (DEG)
 N = 1.



(b) RAMP FUNCTION TYPE-B (UNILATERAL)

H = 7.0
 R = 50.0 (KH)
 FAI = 50.0 (DEG)
 N = 1.



(c) RAMP FUNCTION TYPE-C (UNILATERAL)

H = 7.0
 R = 50.0 (KH)
 FAI = 50.0 (DEG)
 N = 1.

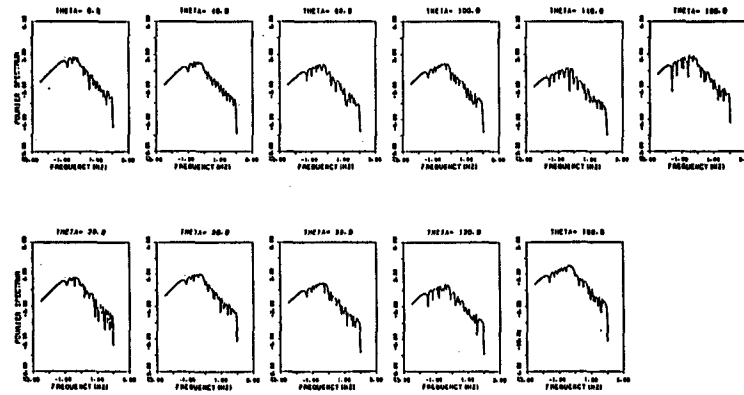


図-17 計算された基盤におけるスペクトル特性

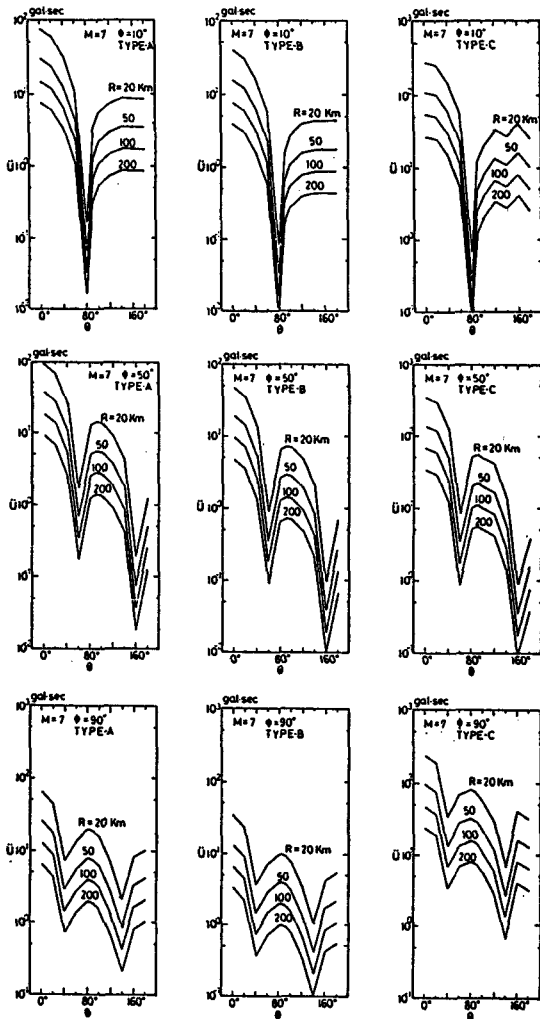


図-18 最大スペクトル振幅の分布

ル振幅の最大値は TYPE-C の Ramp Function を仮定した場合に最も大きくなる。一方、TYPE-C において Ripple の数 n を増加させた場合 (図-19)、スペクトル振幅は増大し、スペクトル振幅の最大値を示す周波数 (卓越周波数) はより高周波数側に移行する。しかしながら Corner Frequency の値は n の値によって大きく変化しない (図-20) という一般的な傾向が認められた。また、TYPE-C の場合と同様に Ramp Function をより複雑な形状で、例えば階段状のステップ関数

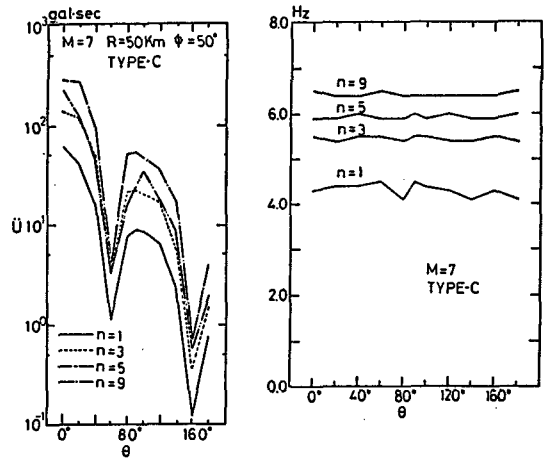


図-19 Ripple 数の変化にともなうスペクトル特性の変化 (TYPE-C の場合)

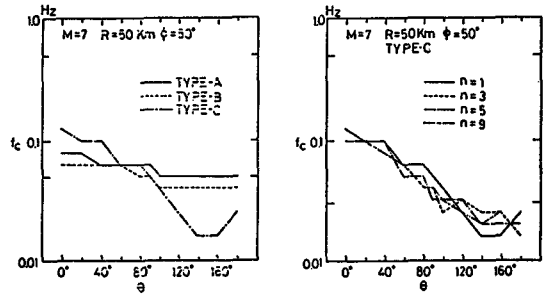


図-20 Corner Frequency の変化

のように仮定した場合には、計算される震源スペクトルはより短周期成分が卓越することが認められている。しかし、その場合においても R , θ , ϕ によるスペクトル振幅の絶対値の大きさは著しく変化するが、その振幅方位分布は、上述の計算結果 (図-18) と同様な変化傾向を示し大きな差異は認められない。何れにしても、これらの Ramp Function のタイプの選択は地震の震源メカニズム (断層の破壊伝播式) に関連し、地震毎にも相違するため、一概には確定しにくい非常に困難な問題で、今後の重要な課題であろうと思われる。

以上の結果は、Haskell による震源断層モデルを用いた場合に算定されるスペクトル特性について $M=7.0$ を仮定して震源パラメータ (r , θ ,

φ等)を変化させた時の一般的な性質を示したものであるが、実際には、これらのパラメーターを含むより多くのパラメーターから最適な組合せを採用して計算することが望ましいことになり計算過程は極めて複雑となる。

図-21に上述の断層モデルを用いて算定した地震学的基盤での地震波のシミュレーション波形の1例を示しておく。

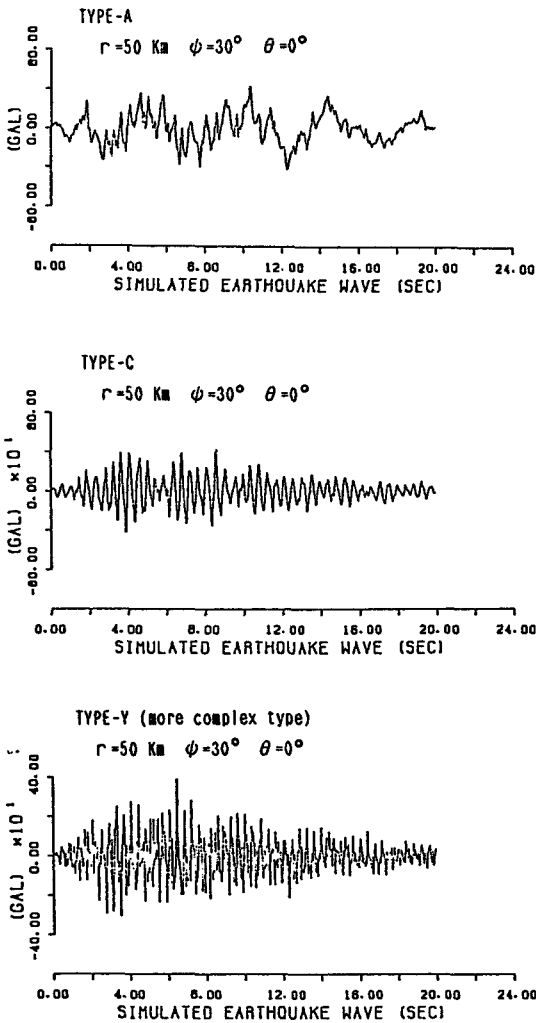


図-21 シミュレーション波形

8 安政江戸地震の震源パラメーター

安政江戸地震は、地震の規模として震度分布からM=6.9と推定されているが、震源パラメーターは不明確であり特定できない。そこで、本研究では、地震の規模をM=7.0と設定してMを変数とした経験式から算定される断層の諸パラメーターを仮定することとした。設定される断層の諸パラメーターを仮定することとした。設定した震源パラメーターを表-2に示す。また Ramp Function

表-2 仮定した安政江戸地震の震源パラメーター

Fault Parameter	
M	= 7.0
L	= 50 Km
W	= 25 Km
δ	= 90°
β	= 3.0 Km/s
c	= 2.16 Km/s
f	= 3.0 g/cm
D	= 124.5 cm
τ	= 1.91 s
M ₀	= 4.20 x 10 ²⁴ dyn·cm

としては図-16に示す3タイプを仮定した。一方、本地震の震源は従来より荒川河口の亀戸・亀有付近とされているが、宇佐美によれば、これは亀有付近の地変に関して記述された資料によるものであり必ずしもこの記述に拘束される必要はなく、前述のごとく震度分布（木更津の震度が大きいこと等）や最近の関東地方（東京湾中央部付近）のSeismicityなどを考えれば上記の従来からの位置とは確定できず、むしろもっと南側の範囲を考えるべきであるとの指摘もなされている。しかし、震源の深さについては従来どうり約50km程度とされていることなどから、本研究では、表-3および図-22に示すような4ケースの震源位置を仮定

表-3 仮定した震央位置

Hypocenter

	Lat.	Long.	Depth	Direction
CASE 1	35°40'N	139°49'E	50 Km	N13°E
CASE 2	35°30'N	139°46'E	50 Km	N13°E
CASE 3	35°40'N	139°51'E	50 Km	N47°W
CASE 4	35°30'N	140°04'E	50 Km	N47°W

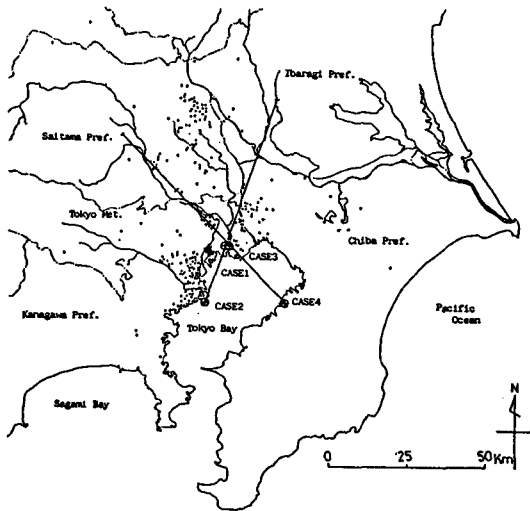


図-22 仮定した震央および震源断層の位置

することとした。すなわち CASE 1 と 2 は断層の走向を亀戸-亀有を結ぶ線とした場合で震央の位置を従来の位置（亀戸付近）とより南側に仮定した場合であり、CASE 3 と 4 は別途、関東地方周辺に存在する活断層の走向にほぼ平行とし、震央の位置を従来の位置とより南側に仮定した場合である。これらは、いずれも宇差美による調査結果に示された図-2 の震央位置の存在可能な範囲の領域を参考として仮定した。

9 震源断層モデルによる震度分布

上述のように設定した震源断層モデルにより、既に被害分布から震度分布が判定されている各地点の地震動の強さを算定し解析的に震度分布を検討することとした。まず、各地点の直下に存在する第四紀層の基底の深さと地震学的基盤の存在深さを図-12および図-13より算出し、3層構造(図-15)により各地点での地盤構造モデルを作成する。そして、仮定された4ケースの震源および震源断層の位置に対して、各地点の基盤の位置と震源の位置との相対的位置関係を示す r , θ , ϕ を計算する。その結果より、各地点の基盤での地震動のスペクトル特性 $O(\omega)$ を算定する。また、伝播経路および距離減衰を考慮した伝達特性 $T(\omega)$ および地下構造による伝達特性 $H(\omega)$ を算定し、次式により地表面でのスペクトル特性 $S(\omega)$ を算定する。

$$S(\omega) = O(\omega) \cdot T(\omega) \cdot H(\omega)$$

そして、 $S(\omega)$ のフーリエ逆変換により地震動を計算し、その最大加速度値により震度 (M. S. K 震度) を判定することとした。従って、以上のような解析的な方法を用いれば、計算過程上に導入される、実際の地震現象の複雑さに対する簡略化や種々の理想的なモデル化に関する仮定等の精度問題は残るが、安政江戸地震に関して震源および伝播経路や地下構造を考慮した地震動の強さの分布に関する第1近似的な計算結果を得ることができるものと思われる。

図-23は、上述の方法で算定した震度分布の1例であり、(a)図は CASE 1 で Ramp Function の TYPE-C の場合であり、(b)図は CASE 4 で Ramp Function の TYPE-C の場合である。以上の結果のうち現段階で算定された最適な震度分布は CASE-4 で TYPE-C の場合である。計算過程上の精度の問題を考えれば、算定された震度分布は、被害分布より判定された震度分布と調和的であると考えられる。

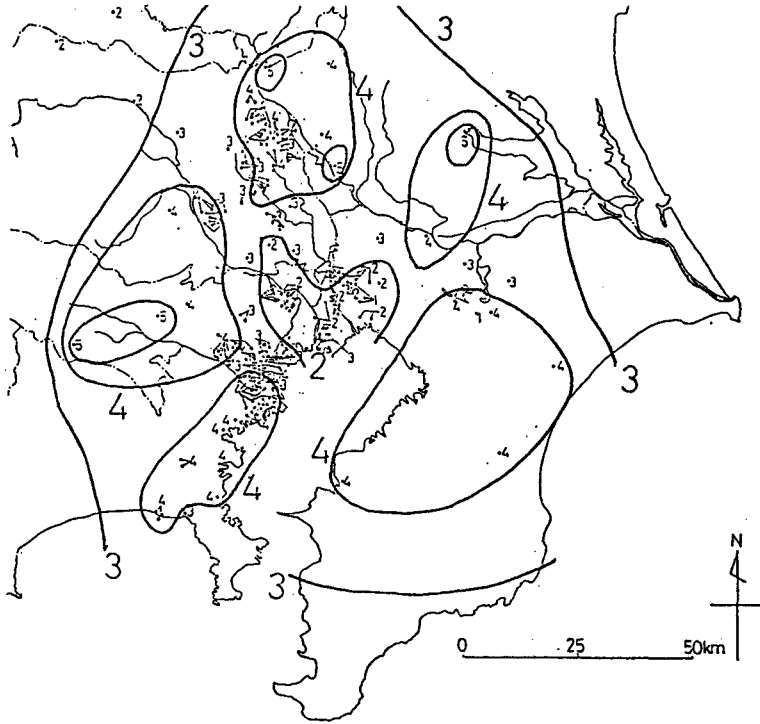


図-23(a) 計算された震度分布 (CASE1,TYPE-Aの場合)

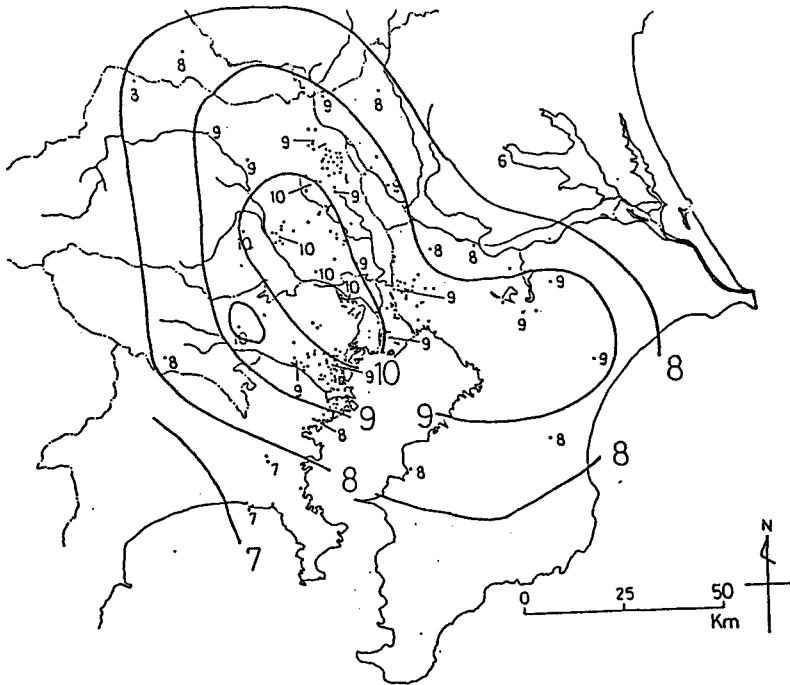


図-23(b) 計算された震度分布 (CASE4,TYPE-Cの場合)

10 あとがき

本研究では、安政江戸地震に関するこれまでの調査結果と新しく発見された地震被害に関する新資料を加えて江戸府内の被害分布を検討し、更に関東地方各地の被害分布を調べた結果から、本地震による関東地方全般の震度分布を推定した。その結果、これまでの比較的不明瞭であった震度分布が明らかとなり、その傾向は関東地方の地形・地質ならびに第四紀層の基底等深度線に調和的な震度分布の傾向が認められた。このことは、本地震の震源および発震機構と地盤の増巾性による顕著な影響を示しているものと考えられる。一方、Haskellの震源断層モデルならびに関東地方全般の地下構造モデルを用いて計算された解析結果では、震源パラメーター、地下構造などの精度に問題があり必ずしも十分ではないが、第1近似的に計算された本地震の震度分布の傾向は、震源の位置や断層の走向等を変化させて計算することにより、上述の被害分布から求められた震度分布と比較的よく対応することがわかった。今後、種々の問題に対してなお一層の検討ならびに改良を試みたいと考えている。

末筆ながら、本研究を進めるにあたり、安政江

戸地震に関する膨大かつ貴重な資料を収集され、それらの資料を提供して頂き、合せて助言を頂いた東京大学地震研究所宇差美龍夫博士に心より厚く御礼申し上げます。

文献一覧

- 「理科年表」 丸善書店、1978
- 宇差美龍夫
1976 「新史料による安政江戸地震の調査」、東京大学地震研究所彙報、第51号
- 1981 「日本被害地震総覧」、東京大学出版会
東京都防災会議
- 1976 「東京直下地震に関する調査研究(その4)」
佐山 守
- 1973 「安政江戸地震災害誌(上巻)、(下巻)」、
東京都
- 望月利男・宮野道雄
1977 「東京における安政江戸地震と関東地震の被害についての一考察」、建築学会論文報告集、第256号
- 正井泰夫
1975 「江戸の都市的土地利用図1860年頃」、日本国際地図学会、Vo1.13, No.1

INVESTIGATION ON THE DISTRIBUTION OF SEISMIC INTENSITY CAUSED BY THE ANSEI EDO EARTHQUAKE IN KANTO DISTRICT

Toshio Mochizuki* and Takahisa Enomoto**

*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

**Faculty of Technology, Kanagawa University

Comprehensive Urban Studies, No.23, 1984, pp. 49-67.

The epicenter of the ANSEI EDO Earthquake ($M=6.9$) which occurred on Nov.11, 1855, was determined to have been situated directly under the urban area of Edo (now Tokyo Metropolis) with heavy damaged occurring in the urban area of Edo and towns located within the Kanto District. In this paper, we investigated the damage caused by the ANSEI EDO Earthquake from the many old reports which described the destruction and we were able to make clear the distribution of the damage as well as the seismic intensity (M.S.K. scale) in the Kanto District.

On the other hand, we computed the intensity of this earthquake theoretically at many sites situated in the Kanto District by the analytical method which considered the assumed seismic source model and the underground conditions in the Kanto District. As a result, the theoretically computed seismic intensity comparatively well coincided with the actual distribution of the seismic intensity determined from the damage reports and both results indicated a harmonic tendency.

We thought that the results which were obtained in this paper could be useful information on earthquake disaster prevention in urban areas and might aid in deciding what are the incident seismic wave characteristics for earthquake resistant design.