

都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト：①首都直下地震の地震ハザード・リスク予測のための調査・研究

Special Project for Reducing Vulnerability for Urban Mega Earthquake Disasters: Hazard and Risk in metropolitan Tokyo

*平田 直¹、中川 茂樹¹、酒井 慎一¹、鶴岡 弘¹、佐藤 比呂志¹、佐竹 健治¹、木村 尚紀²、本多 亮³、堀 宗朗¹、長尾 大道¹、石辺 岳男¹、村岸 純¹、加納 将行¹、中村 亮一¹、パナヨトプロス ヤニス¹、横井 佐代子¹
*Naoshi Hirata¹, Shigeki Nakagawa¹, Shin'ichi Sakai¹, Hiroshi Tsuruoka¹, Hiroshi Sato¹, Kenji Satake¹, Hisanori Kimura², Ryou Honda³, Muneo Hori¹, Hiromichi Nagao¹, Takeo Ishibe¹, Jun Muragishi¹, Masayuki Kano¹, Ryoichi Nakamura¹, Yannis Panayotopoulos¹, Sayoko Yokoi¹

1.東京大学地震研究所、2.防災科学技術研究所、3.神奈川県温泉地学研究所

1.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 3.Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

私たちは、「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」によって整備された、首都圏地震観測網 (MeS0-net) を活用して、2011年東北地方太平洋沖地震発生以降の首都圏における新たな地震像 (発生場所、地震規模、地震発生頻度) を解明することと、構造物の大規模シミュレーション数値解析に基づいて、そうした大地震が発生した時の都市の詳細な地震被害評価技術を開発することを目標として、「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト：①首都直下地震の地震ハザード・リスク予測のための調査・研究」を2012年から5か年計画で進めている。今年度は、計画の最終年度にあたり、主たる成果をまとめる。本プロジェクトでは、将来に首都圏で発生する大地震の姿を予測するために、(A) 現在発生している地震から直接将来の地震を予測する手法と、(B) 現在のデータとモデルを用いて過去の地震の姿をより現実性をもって復元し、そのような地震が将来起きる可能性があると考えられる二つの手法を用いている。そのどちらでも、現在の地震の震源分布と地震波速度、Qの3次元分布は基本となる。そのため、MeS0-netによって、(A1) 首都圏に約300カ所から連続記録を収集して、(A2) 震源分布解析、(A3) 波走トモグラフィによる速度分布推定 (Nakagawa et al., 2010)、(A4) スペクトル解析によるQ構造推定 (Panayotopoulos et al., 2014)、(A5) 波形相関法による観測点間のグリーン関数の復元と速度推定等のデータ解析を行っている。さらに、(B1) 古い観測記録による震源の精度の評価、(B2) 歴史地震学的研究によって1855年安政江戸地震など被害分布から歴史地震の震度分布を推定し、震源、マグニチュードなどの地震像を解明する試みを行っている。これらの知見によって明らかになりつつある地盤の揺れと、建物等の揺れの関係を解明することによって、(C) 都市全体の揺れと被害を高精度に評価する手法 (地震ハザード・リスク予測法) を提案する準備を進めている。このために、(C1) 観測点のない地表の揺れを推定する手法を開発し、(C2) 首都圏にある数百万棟の建物の揺れを評価して、可視化する技術が必要になる。MeS0-netのデータから自動的に地震を検出して震源を決定する手法を開発し、首都圏の震源のカタログを作製した (A2)。また、高密度の観測点を用いて発震機構解を求めてデータベース化し、現在の地震データ (S-P時間、発震機構解) との類似性から過去の観測点の少ない時期の震源を推定した (B2)。今後は、現在観測されている震度分布と、歴史地震の震度分布との類似性から歴史地震の震源、マグニチュードを推定することを進める。さらに、3次元の速度構造とQ構造モデルを用いて、理論的に任意の震源、Mの地震の震度分布を求める手法を開発して、歴史地震の震度分布と比較して、震度とMを推定する。現時点では、速度とQモデルから推定された理論震度分布と観測震度を比較して手法の検証を進めている段階である (中村・他2016、Panayotopoulos et al., 2016)。

本プロジェクトの中で、MeS0-net観測点を用いて、任意の地点の地震動を推定する手法を開発した (加納・他、2016)。この手法を発展させることで、首都圏の任意の地点の建物の揺れを推定する手法が開発できる。これは、首都圏の地震リスクを評価する新しい手法である。

キーワード：首都圏、地震災害誘因、フィリピン海プレート

Keywords: Metropolitan Tokyo, Seismic Hazard, Philippine Sea Plate

防災リテラシーを向上させるための「防災リテラシーハブ」の開発

Development of "Disaster Management Literacy Hub" (DMLH) to Enhance Disaster Management Literacy

*木村 玲欧¹、林 春男²、小林 皓介³、西野 隆博⁴、卜部 兼慎³、井上 聡³*Reo Kimura¹, Haruo Hayashi², Kosuke Kobayashi³, Takahiro Nishino⁴, Kenshin Urabe³, Satoshi Inoue³1.兵庫県立大学、2.京都大学、3.株式会社ジイケイ京都、4.有限会社アール・ツー・メディアソリューション
1.University of Hyogo, 2.Kyoto University, 3.GK Kyoto Inc., 4.R2 Media Solution Inc.

本論文は、「防災リテラシー」を体系化・一般化するための「防災リテラシーハブ」というシステムの概念を提案し、一般市民や災害対応従事者が防災リテラシーに関する素材を共有することができるような「防災リテラシーハブ」の設計について論じたものである。

21世紀前半の大規模地震災害を乗り越えるためには、構造物などによる被害抑止策だけではなく、一般市民・災害対応従事者など人々や組織による被害軽減策も重要であり、彼らが身につけるべき「防災に関する知識・対応能力」を防災リテラシーと定義した。

防災リテラシーハブの概念設計については、インストラクショナルデザインの考え方をもとに、一般市民・災害対応従事者が、「実際に研修映像を見ながら、教材と確認テストによって、視覚的に学ぶことができるスタイル」（映像でまなぶ）、「学校で教員が使う指導案（授業の進行計画）（guidance/teaching plan）と教材によって、学校・地域・自治体などで研修・訓練を行いたいと考えている人が、研修・訓練の展開や指導の方法・コツを学ぶことができるスタイル」（指導案でおしえる）、「防災リテラシーに関する素材を、投稿したり、検索したりしながら学ぶことができるスタイル」（資料を収集・整理する）の3種類を提案した。

キーワード：防災リテラシー、インストラクショナルデザイン、災害対応能力、研修・訓練

Keywords: disaster management literacy, Instructional Design (ID), competencies for disaster responses, education and training

都市減災ジオポータルの開発とその利活用

Development and Utilization of Urban Resilience Geoportal Online

*鈴木 進吾¹、林 春男²

*Shingo Suzuki¹, Haruo Hayashi²

1.国立研究開発法人 防災科学技術研究所、2.京都大学防災研究所

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

In the Subproject to develop resilient society improving disaster management competence of MEXT Special Project for Reducing Vulnerability for Urban Mega Earthquake Disasters, we are developing web-based disaster-related geospatial contents sharing system called "Urban Resilience Geoportal Online" to integrate the achievement of multidisciplinary researches on the processes and impacts of mega-disaster.

The mega-disasters predicted in Japan, such as Tokyo Metropolitan Earthquake or NankaiTrough Earthquake Tsunami, bring huge amount of damage and loss in various sectors and various regions, and the scenarios of damage occurrence and loss propagation are very complex. Hence, in order to quantify each problem's importance to create disaster reduction strategies, it is very important to share and integrate data and findings across many disciplines and regions. In order to share various contents and utilizing them in various organization, we considered DIKW(Data, Information, Knowledge and Wisdom) model which is chain of thinking used in knowledge management.

Firstly, we developed community based GIS(Geographic Information System) data sharing portal site utilizing ESRI ArcGIS Online for Organization in order to share contents at data level. Researchers as community members who participate in this subproject upload their data to this portal site in the form of web map service layer which is easily mashed up with other researcher's layer on ArcGIS Online. These uploaded layers are registered in catalog system and users can search, view, mash up them on demand in catalog system or in web map viewer easily. More than 500 layers including base data, hazard data, vulnerability data and the damage and response data of past disasters are gathered in the geoportal.

Secondly, in order to share contents at information level, we developed the method to share researchers' data analysis model or impact estimation model. In earthquake disasters, many kind of damage and impacts occur in complex processes and many kind of person or organizations should prepare based on the estimation which is consisted of many data and models. The new method to share various models to analyze or estimate situation uses web GIS services. Data required in models are provided by data services. Geoprocessing service processes geospatial calculation based on a model using data from data service and create result as result service.

In order to give people or organization personalized estimation information, we made the simple earthquake disaster estimation application that everyone can estimate that with web browser combining these shared data and geoprocessing services. From the development procedures, making and sharing components as services enables estimation of complex disaster process because they can be combined flexibly according to needs, and this can promote collaboration of multidisciplinary researchers faster.

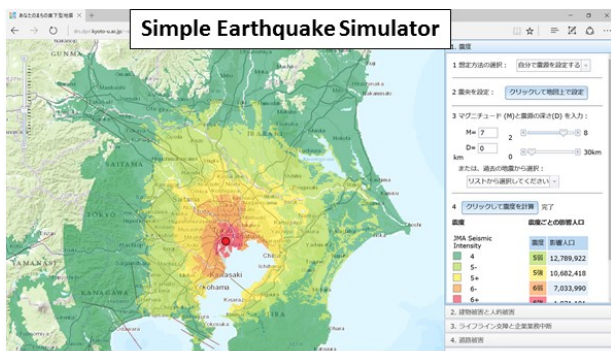
Thirdly, in order to share contents at knowledge level, we utilized Story Maps. Map or layer can't by itself transfer knowledge. People often can't understand what they should read from a map. People often misunderstand what the creator of the map intended to explain, or should know the story lying behind the map. So we combined story and map with ESRI Story Maps web application template. Story Map can display a series of maps according to a story along with the text which

explain what displayed map is, what the map aims and what users should read from the map. Several research achievements suitable for geographic expression were shared their findings as knowledge with Story Maps. We think this method can contribute to the risk communication between specialists and non-specialists.

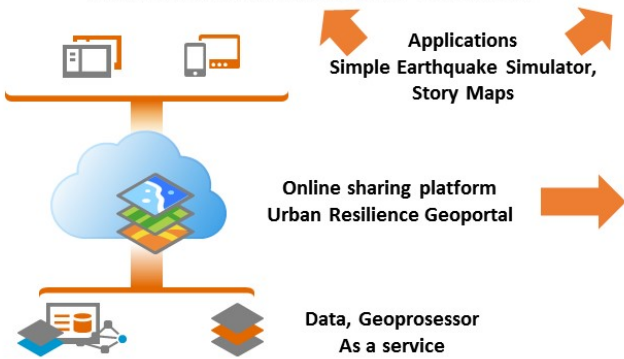
Lastly, in order to share contents at wisdom level, we are now developing response management simulator in which coordinators of disaster response in organizations can train their skills of decision making under various situations.

キーワード：WebGIS、シミュレーター、ストーリーマップ

Keywords: WebGIS, Simulator, Story Maps



<http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/~shingo/amc/>



<http://mexturp.maps.arcgis.com>

徳島市を対象とした、津波による流入水の堤外排水のシミュレーション

A simulation of drainage of influent water caused by tsunami at Tokushima.

*谷口 純一¹、馬場 俊孝²、三好 学³、安芸 浩資³

*Junichi Taniguchi¹, Toshitaka Baba², Manabu Miyoshi³, Hiroshi Aki³

1.徳島大学大学院先端技術科学教育部、2.徳島大学、3.ニタコンサルタント

1.Tokushima University Graduate School of Advanced Technology and Science, 2.Tokushima University, 3.Nita Consultant

近い将来、南海トラフを震源とする地震が起こると言われており、徳島ではこの地震による津波の被害が懸念されている。津波による直接的な被害に関しては津波のシミュレーションも行われ、ハード面ソフト面様々な対策が実行されている。しかし、徳島市には土地が低く、周囲を堤防で囲っている地域がいくつかあり、こういった地域では津波によって流入した水が堤内地に留まることが予期され、その後の復興の妨げとなる可能性が高い。この湛水がどのように堤外へ流れていくのかの想定は不十分であるため、シミュレーションを行い、事前の対策を考えることは重要である。

シミュレーションの手順は以下の様である。まず、ある地震を入力として非線形浅水波理論によって対象地域の堤防までの津波の計算を行う。次に、その波高が堤防を越えた時、越流公式（本間,1940）によって堤内に水を浸入させ、堤内も津波と同様に2次元の非線形浅水波理論で計算する。しかし、堤内では、地表を流れる水だけでなく、開水路、下水路、排水ポンプをモデル化し、それらによる排水も同時に計算する。なお、対象地域の内水の計算にはAFREL（Application of Flood Risk Evaluation）を用いた。

内閣府想定のカース3を入力とした場合、徳島市沖洲地区では、地震発生後約40分後に第一波が到達し、その後約42時間で、最大で浸水した面積の90.6%が排水されるが、残りは窪地に溜り、現モデルでは排水しきれない。また、同地域には全部で12の排水ポンプが存在するが、このうち排水能力の高い上位3つを止めて計算すると、72時間たっても浸水面積の55.2%しか排水されないことがわかった。この地域の排水ポンプは雨による湛水の排水を目的として作られているため、海水の塩分や停電への対策が不十分である可能性があり、今後さらなるシミュレーションの実施とともに、対策についても検討していく。

キーワード：排水、津波

Keywords: drainage, tsunami

ハザード情報と地形情報を含めたインタラクティブな津波避難経路選定支援ツールの開発 Development of User-Interactive Application Supporting for Detection of Tsunami Evacuation Route with Land Features and Hazard Information

*井ノ口 宗成¹、関川 貴大²、田村 圭子²、林 春男³

*MUNENARI INOBUCHI¹, TAKAHIRO SEKIKAWA², KEIKO TAMURA², HARUO HAYASHI³

1.静岡大学、2.新潟大学、3.京都大学

1.Shizuoka University, 2.Niigata University, 3.Kyoto University

1. Background and Objectives

Based on lessons learned from 2011 East Japan Earthquake, Cabinet office of Japan has promoted local governments and communities to develop "Community Disaster Management Plan". Local governments started to develop the plan in the view of the circumstances in their regional characteristics. Niigata city also organized the workshops in order to develop it against tsunami disaster with residents. Only a few residents participated in this workshops and they build their capacity due to workshop schedule and largeness of place. Other residents did not have opportunities to discuss about disaster prevention. Against this issue, we decided to develop an application supporting for individual disaster management plan in analyzing hazard risks and land features around their habitation area.

2. Clarification of Work-flow for Developing Evacuation Plan at Tsunami

We conducted preliminary survey in these workshops in order to design the work-flow for users to develop their own disaster management plan at tsunami. Especially, in this research, we narrowed down a target to evacuation plan because evacuation is most important behavior to save their lives. Through the workshops in Niigata city, we found the processes of developing evacuation plan was consisted of 5 steps. 1) Introduce fear of tsunami disaster and countermeasure at tsunami disaster, 2) Survey the evacuation route from each participant's house to public tsunami evacuation center, 3) Discuss potential risks behind participants' community, 4) Design strategic plan for their community and to discover potential evacuation center such as non-public high-rise buildings, 5) Report and share the result of their discussion. Furthermore, it is a unique feature in these workshops to set 2 evacuation goal. First goal is near-by their habitation place and it is built in high elevation area. Second one is far from the impacted area by tsunami and it is located in higher elevation area than first one. This was followed by lessons learned from Kamaishi Evacuation Story at East Japan Earthquake in 2011.

3. Development of Prototype of User-Interactive Application

We developed a prototype of application based on the system-design described above. In this application users can detect rational evacuation route considering hazard risks and land features. Because we supposed that users cannot detect it at one time, we decided to develop the application as web-based and user-interactive application. This means our developed application should respond the result of analyzing the risks around their detected evacuation route in conjunction with the modification of users' evacuation route. Finally we developed the prototype of application following 7 users' steps: 1) Set start point for evacuation, 2) Set first evacuation goal, 3) Set second evacuation goal, 4) Search shortest evacuation route, 5) Review change of elevation on evacuation route, 6) Judge hazard risks and land feature on evacuation route, 7) Download evacuation route dataset as a local file. From step1 to step5, we utilized Google Map API for searching specific place name or street address, and for evaluating transition of elevation on the

detected evacuation route. In step7, users can download the detected evacuation route as GPX file for reviewing it on GIS software they have later.

4. Discussion

We implemented the application and published it for 10 days in order to examine its effect. Through this examination, we gained 1,960 users' logs. Deciphering those logs, only 223 of rest 851 users detected their rational evacuation route considering hazard risks and land features around the detected evacuation route. We found that the complicated user-interface and system transaction caused this result. Against these issues, we are planning to modify it with higher user-friendly interface and to build a story for developing their evacuation route in it.

キーワード：マイクロメディアサービス、津波災害、避難経路、都市の脆弱性

Keywords: Micromedia Service, Tsunami Disaster, Evacuation Route, Urban Resilience

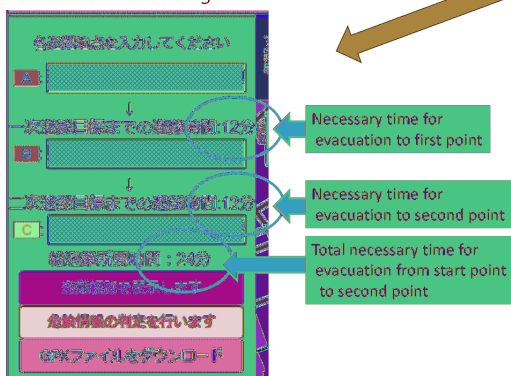
This application detect "Shortest Route" from start-point through 1st goal to 2nd goal.



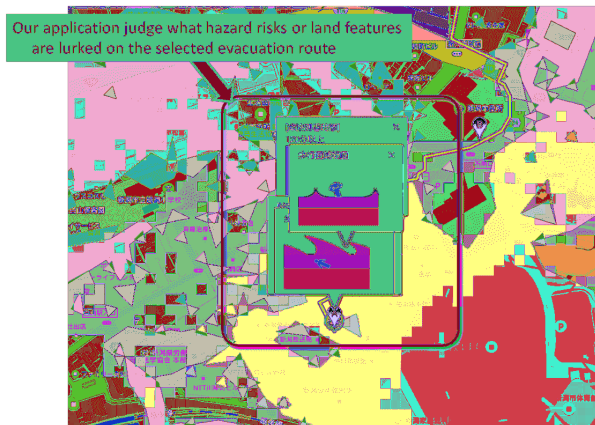
This application evaluate transition of elevation on users' detected route dynamically.



This application suggest the minutes should be taken to walk to each goal.



This application evaluate hazard risks around the route.



生活再建支援システムを活用した生活再建支援業務のためのマネジメント研修プログラムの開発
Development of a Management Training Program for Supporting Life Recovery Process at the
Time of Disaster based on the Idea of VMDB System

*田村 圭子¹、井ノ口 宗成²、堀江 啓³、林 春男⁴

*KEIKO TAMURA¹, MUNENARI INOBUCHI², KEI HORIE³, HARUO HAYASHI⁴

1.新潟大学、2.静岡大学、3.(株)インターリスク総研、4.京都大学

1.Niigata University, 2.Shizuoka University, 3.InterRisk Research Institute & Consulting, Inc.,
4.Kyoto University

INTRODUCTION. In the event of a disaster in Japan, local governments provide many types of administrative services to victims. Before the provision of these services, victims have to be identified and apply to the support programs. Victims are identified on the basis of building inspections for the assessment of building damages. The results of the building inspection are compiled in a database and certification of the degree of building damages are in turn granted to the victims.

Previously, a basic database was constructed to manage the certifications for the degree of building damages. The life recovery support system, VMDB, using the survivors' ledger comprehensively assists local governments, in the wake of a disaster, with helping disaster victims rebuild their lives, including the issuance of disaster victim certificates. It has been developed through an industry-academia collaboration among Kyoto University, Niigata University, NTT, InterRisk inc and others. The system makes it possible to quickly and fairly assess a significant number of damaged structures, and also includes programs to train the inspectors required for these assessments.

MANAGEMENT TRAINING PROGRAM. As the target of the ward City staff of Tokyo, in the opportunity to carry out continuous training to foster the core staff that can management up to the victims ledger leverage from damage authorized investigation, has developed a training program, Training was carried out in six courses. This program consists mainly of two of the contents of the next: (1) Training for the victims life rebuilding support business management in line with the project management methods as follows; 1) Overall picture of project management in supporting life recovery process: Victims life reconstruction realities of support and an overall picture of the support system to organize the five components was commentary, 2) Inspect Building Damage: The positioning of the building damage certification survey business, it is an object of the business, certification standards, after explaining about the investigation process or the like, to take advantage of the pattern chart, etc., were carried out exercises of damage certification, 3) Register Inspection Results: After explaining the significance and mechanisms of the digital data of the questionnaire, questionnaire of creating exercises, and a reading demonstration by actual equipment were carried out, 4) Issue victims' certificate: Afflicted certificate issuance significance of the system, business flow, method of operation, describes the system configuration, using the afflicted certificate issuing system experientially, 5) Afflicted certificate issuance management: For afflicted certificate issued explains the need for performing a space designed in consideration of the business flow, the estimation of the concentration issue period, the study of the venue layout was carried out, 6) Life recovery support services management: After describing in terms of consultation and practical person in charge for the business for the business content of the life rebuilding support, it was role-playing exercises divided into victims auditors and practitioners auditors.

(2) Constructing WBS of the victims life rebuilding support business management

The WBS, hierarchically in detail the business, by structuring, is intended to facilitate the management. To manual the disaster response operations with a hierarchical structure, it is necessary to clarify the janitorial structure of life rebuilding support services. To municipal officials who received the training, it was carried out WBS created on the life rebuilding support business.

FUTURE PLANS. Promote the content of the literacy hub towards the use of in accordance with the situation of the local government, promote the expansion of variation.

キーワード：マネジメント研修プログラム、生活再建支援、復興、都市の脆弱性

Keywords: Management Training Program, Supporting Life Recovery Process, Recovery, Urban Resilience

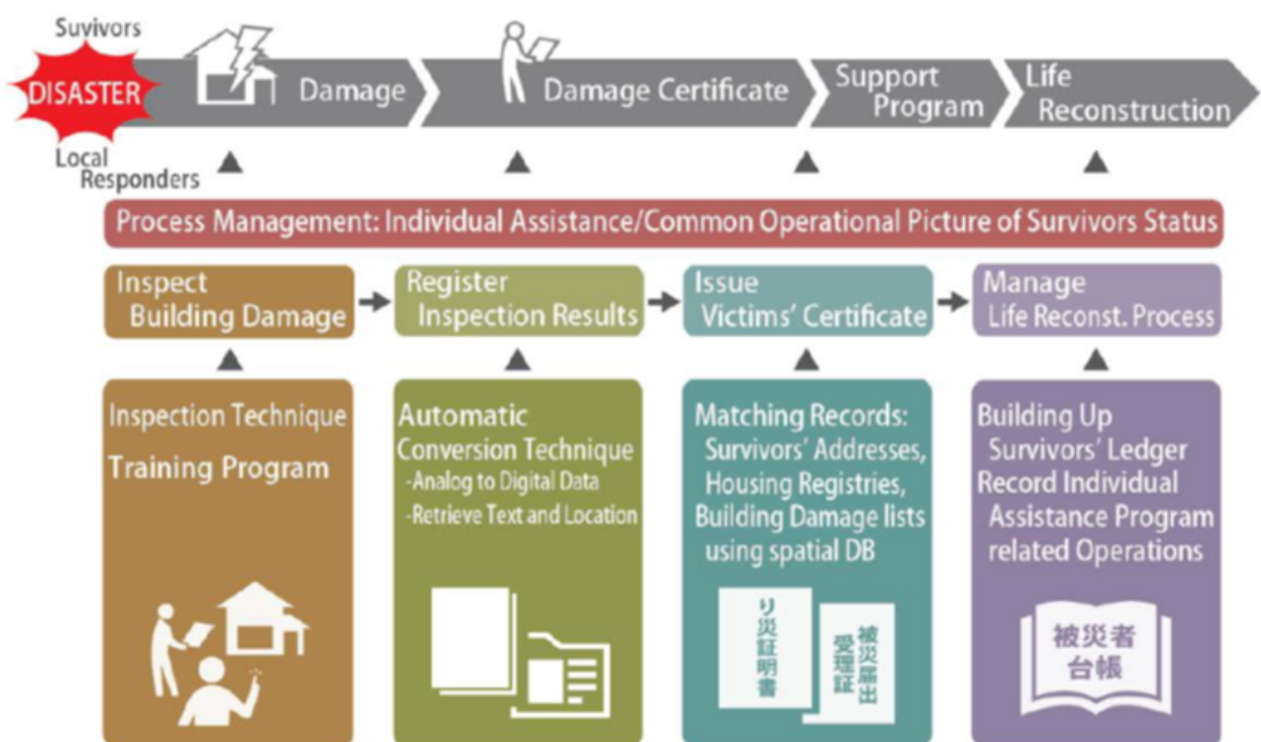


Fig. The Outline of the Life Recovery Support System, VMDB

MeS0-netの地下の観測データから地表の揺れを推定する試み その2

The trial which presupposes the surface ground motion using underground seismographs

*酒井 慎一¹、中川 茂樹¹、平田 直¹

*Shin'ichi Sakai¹, Shigeki Nakagawa¹, Naoshi Hirata¹

1. 東京大学地震研究所

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

東京大学地震研究所では、文部科学省委託研究事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト（平成19年～23年）」を受託し、首都圏に296ヶ所の地震計を設置した。この地震観測網（MeS0-net）は、地表の雑振動を避ける目的で、地下20メートルに地震計を設置している。そのため、この地震計から得られるゆれは、地表のゆれとは若干違っている。一方、地下、地表面、建物内の地震動の関係を研究するため、文部科学省委託研究事業「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト（平成24年～28年）」では、MeS0-netが設置されている観測点近傍の建物内と地表面に同様の地震計を設置した。そこで、これらの地震計で観測された記録を用いて、地下のゆれから地表におけるゆれを推定することを試みた。

まず、観測記録の中から有感地震時の記録を用い、それらの差を計測震度相当値で比較してみた。その結果、SKH観測点では、地表の方が1.0程度大きくなった。JYH観測点で同様のことを行くと、その差は0.95程度であったが、TYS観測点での差は0.2程度で、地下と地表とでゆれの大きさにほとんど違いが無い。SKH観測点やJYH観測点は、東京都西部の武蔵野台地に位置する一方で、TYS観測点は東京湾の埋立地に位置し、支持基盤までの深さが50m以上と深い。建物の最上階（4階と5階）での計測震度の差は、それぞれ1.4、1.6、0.5となった。それぞれの地盤構造を反映しているものと考えられ、地震の規模、周期、震源位置による違いも考慮する必要がある。

キーワード：首都圏、都市の地震、震度

Keywords: Metropolitan area, urban earthquake, intensity

近世関東における地震史料データベースの構築と1855年安政江戸地震における江戸以外での有感記録
Construction of historical document database for damaging earthquakes in Kanto region
during the early modern period and felt reports of the 1855 Ansei Edo earthquake in the
areas outside Edo City

*村岸 純¹、西山 昭仁¹、矢田 俊文²、榎原 雅治³、石辺 岳男¹、中村 亮一¹、佐竹 健治¹

*Jun Muragishi¹, Akihito Nishiyama¹, Toshifumi Yata², Masaharu Ebara³, Takeo Ishibe¹, Ryoichi Nakamura¹, Kenji Satake¹

1.東京大学地震研究所、2.新潟大学、3.東京大学史料編纂所

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo., 2.Niigata University,

3.Historiographical Institute, The University of Tokyo

都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクトの一環として、本研究では17世紀以降に関東地方に被害を及ぼした地震を対象とし、既刊地震史料集に所収されている史料に基づいて地震史料データベースを構築している。

近代的な機器観測による記録がない歴史時代の被害地震について、被害分布や地震像などを検討するためには、史料の収集とその記述内容の分析が必要である。地震史料の調査・収集は20世紀初頭から開始されており、これまでに刊行された地震史料集は全35冊（約28,000頁）に及ぶ。しかしながら、これらの既刊地震史料集には、「史料」以外にも様々な種類の「資料」が収められており、自治体史や報告書の叙述からの抜粋記述なども含まれ、玉石混淆の状態にある。そのため、データベース化に際しては歴史学的に信頼性の高い史料のみを選択し、原典に遡って修正や省略部分の補足を行う校訂作業を実施している。なお、本研究で構築しているデータベースは、既存の「古代・中世地震・噴火史料データベース」や「ひずみ集中帯プロジェクト古地震・津波等の史資料データベース」と同様に、史料本文のテキストにはXML言語を使用している。

また本研究では、安政二年十月二日（1855年11月11日）の夜に発生して、江戸市中や南関東一円に甚大な被害を与えた安政江戸地震について、新史料の調査・収集や既存の史料に関する分析を実施した。千葉県域では新たな史料を収集し（村岸・佐竹, 2015, 災害・復興と資料, 6号）、茨城・神奈川県域では収集した史料の再検討を行った（村岸ほか, 2016, 災害・復興と資料, 8号, 印刷中）。さらに、被災地である関東地方からより離れた遠地で記された有感記録についても既刊地震史料集に所収されている史料を用いて検討した。地震発生当日の十月二日夜に遠地で記録された史料を選び出し、その中から「夜四ツ時」や「亥刻」と記されている信頼性の高い日記史料のみを選定した。このようにして厳選された史料にある遠地での有感記事に基づいて、震度を推定した。また、有感記事が記された当時の場所について、他の史料や当時の絵図、日本史における研究成果などに基づいて現在の地名を調査・検討し、その緯度・経度を導き出して遠地での有感記録の分布図を作成した。

付記) 本研究は文部科学省受託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」の一環として実施された。

キーワード：歴史地震、地震史料データベース、1855年安政江戸地震

Keywords: historical earthquakes, earthquake historical documents database, 1855 Ansei Edo Earthquake

K-net加速度記録を用いたフーリエ振幅スペクトルと気象庁計測震度の関係式の構築

Construction of Relationship between Fourier Amplitude Spectrum and JMA Seismic Intensity

*中村 亮一¹、石辺 岳男¹、パナヨトプロス ヤニス¹、佐竹 健治¹、平田 直¹*Ryoichi Nakamura¹, Takeo Ishibe¹, Yannis Panayotopoulos¹, Kenji Satake¹, Naoshi Hirata¹

1.東京大学地震研究所

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

震度と最大加速度、最大速度や応答スペクトルなどの各種物理量との関係式は、いままで多くの研究がなされている(境ほか,2004,藤本・翠川,2010など)。しかしながら、フーリエ振幅スペクトルから直接、震度に変換する関係式の構築はこれまで行われてこなかった。フーリエ振幅スペクトルを指標とした地震動を行なう場合もあり、この関係を構築しておくことは重要と考えられる。そこで本研究では、K-net加速度記録を用いてフーリエ振幅スペクトルと震度の関係式を構築した。

用いたデータは、観測開始から2011年4月までのNS成分の約178,728のK-NET加速度記録である。加速度フーリエ振幅FS(f)はf=1~10Hzの1Hz刻みで各周期の±0.5Hzの間を幾何平均した値とした。震度Iとフーリエ振幅スペクトルFS(f)の回帰式は次のように与えた。

$$I = \sum [A(f) * \log FS(f)] + B$$

ここで、A(f)ならびにBは未知のモデルパラメータで、fは1~10Hzの1Hzごとの周期である。未知パラメータは最小二乗法を用いてA(f)とBを求めた。ただし、最小二乗法を用いる場合、小さな震度のデータが大きな震度に対して圧倒的に多いという問題がある。そこで今回は、震度の度数分布n(I)に対して1/n(I)の重み付けをした最小二乗法も実施した。その際、度数分布n(I)は、宇津「地震活動総説」がまとめた諸研究の値を参考に、 $\log n(I) = a - b \cdot I$ においてb=0.5とした。

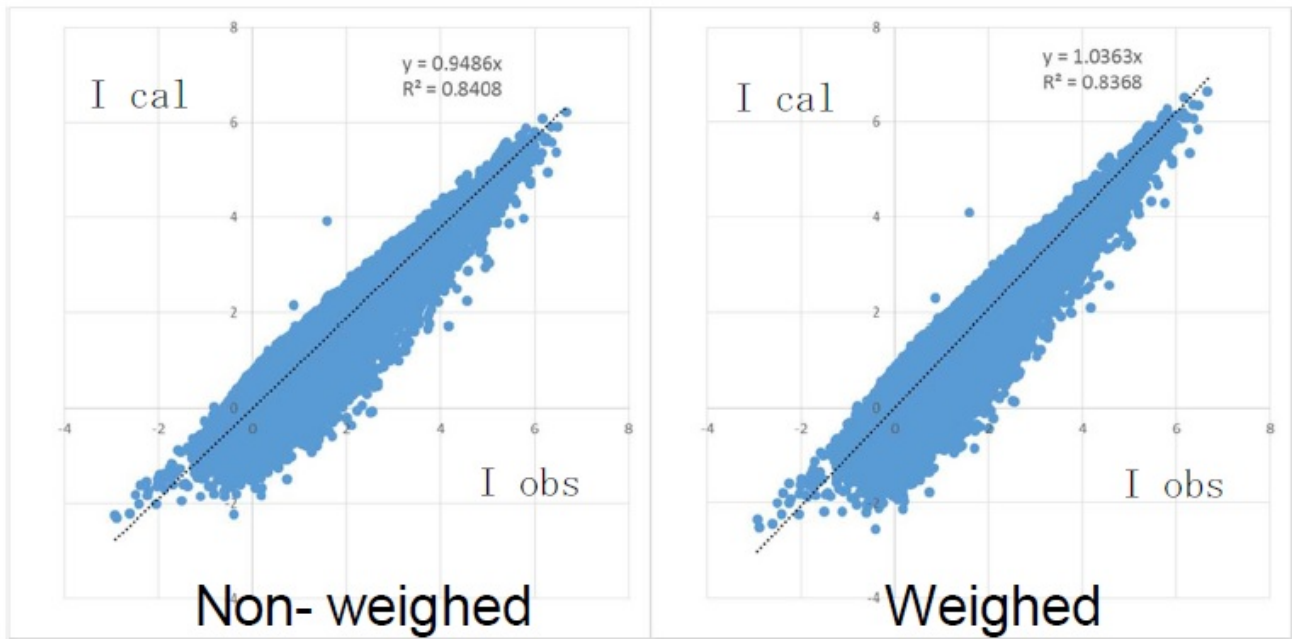
以上から、FS(f)と震度Iの関係式が得られた。2011年東北地方太平洋沖地震について、加速度フーリエ振幅から関係式を用いて計算した震度I_{cal}と、波形から気象庁計測震度の定義に基づき直接求めた震度I_{obs}を比較したところ、ほぼ、再現できることが確認できた。また、今回用いた全観測記録を用いて、重み付け最小二乗法を用いた場合と重み付けをしない場合を比較したところ、高震度では予測結果が良くなっていることが確認できた(図1)。なお、I_{cal}とI_{obs}の関係を見ると、それらから直線回帰で得られる式は傾きがほぼ1となり、I_{cal}とI_{obs}の関係を正しく表していると考えられる。しかしながら、分布形状は何らかの偏りが存在する可能性を示唆しており、今後検討が必要である。

計器観測時代以前の歴史地震に対しては、史料中に記述された被害から推定される震度分布が、その震源域を制約するうえで重要な指標となる。震度データは異常震域現象が現れるような広域震度分布まで計算できることが望ましく、そのためには三次元減衰構造を考慮した地震動予測(中村ほか,2009,2015など)を行う必要がある。この方法ではフーリエ振幅スペクトルが求められる。今回構築した関係式によって、直接フーリエ振幅スペクトルを震度に換算することが可能になり、歴史地震の震度分布との比較が容易になると考えられる。その他、三次元減衰構造を求める研究として、 $t^* = t/Q$ (t:走時)を用いる場合も多くある(パナヨトプロスほか,2015など)が、震度とフーリエ振幅スペクトルの関係式を用いることにより、 t^* から得られるスペクトルにより震度予測を行うことができるという利点も考えられる。

謝辞：本研究の一部は文部科学省による受託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」の一環として実施いたしました。記して感謝します。

キーワード：フーリエ振幅スペクトル、気象庁震度階級、K-NET

Keywords: Fourier Amplitude Spectrum, Seismic Intensity, K-NET



O-C の平均と標準偏差(赤字が良好の部分)

Data		Non-weighted	Weighted
All	ave	0.000	-0.109
	1 σ	0.351	0.372
Iobs \geq 3	ave	0.350	0.067
	1 σ	0.336	0.335
Iobs \geq 4	ave	0.461	0.124
	1 σ	0.343	0.342
Iobs \geq 5	ave	0.504	0.108
	1 σ	0.347	0.342
Iobs \geq 6	ave	0.651	0.203
	1 σ	0.309	0.315

図1 回帰係数を用いた予測と観測の比較

Fig.1 Comparison between Iobs and Ical

A new model of P and S wave attenuation structure for the Tokyo Metropolitan area using the MeSO-net station network

*Yannis Panayotopoulos¹, Naoshi Hirata¹, Shin'ichi Sakai¹, Shigeki Nakagawa¹, Ryoichi Nakamura¹

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

In recent years the development of dense seismic networks in Japan has enabled high quality observations of instrumental intensities. The seismic intensity generally decays linearly with distance. This approximation is not always accurate, since the amplitude of short period ground motion decays with focal distance and is affected by the 3D attenuation structure along the path and in addition displays frequency dependence. In order to accurately simulate the seismic intensity distribution, we need to account for the non linear attenuation of seismic waves along the path. The instrumental seismic intensities inside the Kanto basin observed at the Tokyo Metropolitan Seismic Observation network (MeSO-net) and Hi-net stations display unusual distribution patterns, with peak intensities observed several km away from the epicenter rather than at the stations closer to it. In order to understand the source of this intensity distribution, we estimated the theoretical instrumental intensities using a 3D attenuation structure and compare it to the observed intensity distribution. We first estimated a 3D attenuation structure using the spectral decay of seismic waves, by fitting the observed seismic wave spectrum to a theoretical spectrum using an ω^2 model. The obtained model suggests Q values of 50~100 inside the Kanto basin and low Q values < 300 in the area where the Philippine Sea plate meets the upper part of the Pacific plate. In addition, we find that there is little attenuation of seismic waves in the middle crust area of the Honshu island below the northern Chiba and Ibaragi prefectures, with Q values greater than 600.

We then use an ω^2 model in order to estimate the source acceleration spectrum of several earthquakes occurring below the Kanto basin at depths ranging 30~80 km and to derive the PGA for P and S waves. We compared the observed PGA at the MeSO-net stations to the calculated PGA by our model. In order to estimate the observed PGA, we took a 4 sec window starting from the P or S wave arrival, and looked for the highest acceleration inside this window. The PGA values are moderately low west of the epicenter and highest in an area 20 km to the east of it for earthquakes occurring below the northern edge of Tokyo bay on the Pacific plate. These earthquakes are located exactly below the area where our model displayed significantly low Q values. Seismic waves passing through that area should be highly attenuated. This could be a possible explanation for the observed pattern of the intensity distribution. Although we are able to simulate the general trend in the PGA distribution, our model failed to exactly match the observed amplitudes. On the other hand the PGA distribution of shallow earthquakes does not exhibit a similar anomalous pattern. The distribution for both the observed and estimated PGA, for shallower earthquakes that probably occurred in the upper part of the Philippine sea plate, is characterized by amplitudes that drop almost concentric with increasing distance from the epicenter. Our attenuation tomography results suggest high Q values for the upper part of the crust. As a result, seismic waves passing through this area are very little attenuated. We also achieved better match of the observed and calculated PGA amplitudes in this case.

Keywords: Attenuation, Tomography, MeSO-net

東北地方太平洋沖地震における被害状況に基づく大崎市古川地区内木造建物のモデル化
Modelling of wooden houses in Furukawa district based on damage states during 2011 Tohoku Earthquake

*飯山 かほり¹、山崎 義弘²、後藤 浩之³、盛川 仁²、坂田 弘安²、廣瀬 壮一²

*Kahori Iiyama¹, Yoshihiro Yamazaki², Hiroyuki Goto³, Hitoshi Morikawa², Hiroyasu Sakata², Soichi Hirose²

1.東京工業大学大学院情報理工学研究科、2.東京工業大学、3.京都大学

1.Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2.Tokyo Institute of Technology, 3.Kyoto University

In case that building structures are subjected to a strong earthquake, both the strength of the building structure and the ground property greatly affect their damage level. Even if the buildings are closely located in a small area, it is possible that the difference of the velocity structure of subsurface layers divide their damage states significantly. Numerical simulation can be a powerful tool to give an explanation for spatial differences of actual damage in such a local site, however, it often becomes a task to introduce appropriate numerical models; it requires not only to set appropriate structural parameters of buildings but to estimate ground properties over the targeted area. Particularly with respect to ground properties like velocity structures, available information over a targeted area is limited in most cases.

Furukawa district, Miyagi, Japan, was subjected to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (the 2011 Tohoku earthquake) and then some of wooden houses in particular areas were severely damaged. Goto et al. (2012) established a temporal network of seismometers (Furukawa Seismometer Network, FuSeN) in the area, that is very high density networks using more than 30 accelerometers with a spatial interval of about 100 m. By analyzing the earthquake records and ambient vibration records observed by the FuSeN, Goto et al. (2016) proposed a model of local velocity structure in Furukawa district.

Using the velocity structures proposed by Goto et al. (2016), we estimated earthquake motions at each location in Furukawa district and calculated seismic responses of the wooden houses during the 2011 Tohoku earthquake. As both the detailed structures and the exact age at the time of the wooden houses were unclear, we modeled the story stiffness by shear springs and set three types of mass and stiffness model according to Building Standards Act of 1959, 1981 and 2000. Accelerations on the ground surface at each location, which were used as input earthquake motions, were calculated from both linear and nonlinear analyses to discuss the influence of soil nonlinearity on the spatial distribution of seismic damage. From the analytical results for each calculation case, this study examined the possible structure types of wooden houses and settings of analytical conditions that can explain the damage states over the area.

キーワード：被害分析、東北地方太平洋沖地震、木造建物

Keywords: damage analysis, Tohoku earthquake, wooden house

粘弾性と余効すべりを考慮した2011年東北沖地震による関東地方の応力変化モデル

Time-dependent stress change in the Kanto region due to 2011 Tohoku earthquake, Japan, considering viscoelastic relaxation in the asthenosphere and afterslip

*橋間 昭徳¹、Becker Thorsten²、Freed Andrew³、佐藤 比呂志¹、Okaya David²、水藤 尚⁴、矢来 博司⁴、松原 誠⁵、武田 哲也⁵、石山 達也¹、岩崎 貴哉¹

*Akinori Hashima¹, Thorsten W. Becker², Andrew M. Freed³, Hiroshi Sato¹, David A. Okaya², Hisashi Suito⁴, Hiroshi Yarai⁴, Makoto Matsubara⁵, Tetsuya Takeda⁵, Tatsuya Ishiyama¹, Takaya Iwasaki¹

1.東京大学地震研究所、2.南カリフォルニア大学、3.パーデュー大学、4.国土地理院、5.防災科学技術研究所
1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2.The University of Southern California, 3.Purdue University, 4.Geospatial Information Authority of Japan, 5.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2011年M9東北沖地震は観測史上4番目に大きな地震であり、日本列島を含む広域に大きな変形を引き起こし、周辺域には地震発生頻度の急激な増加をもたらした。関東地方は東北沖地震の震源域の南端に位置し、東北沖地震による伏在断層や火山の活動への影響が危惧されている。地殻活動の変化のメカニズムを理解するためには、まず地殻内の応力状態を調べるのが重要である。地震後の地殻活動のメカニズムとして考えられているのは、震源域周辺で起こる余効すべりとアセノスフェアの粘性流動である。本研究では、両者を取り入れた有限要素モデルを構築し、周辺域の応力変化を計算する。モデル領域として3400 km x 4600 km x 700 kmの領域をとる。これは千島列島-マリアナ列島-琉球列島までを含む領域に対応する。プレート境界形状は地震活動などから求めた既存の形状モデルを補間したものをを用いた。モデル領域は5-100 kmの大きさの100万個程度の一次四面体要素によって分割した。すべり領域を480個の小断層（平均28 km x 28 km）に分割して、それぞれの小断層のすべりに対する変位応答を計算する。東北沖地震のすべりおよび余効すべりは、GPSデータや海底地殻変動データから次の手順でインバージョンにより求めた。まず地震時の変位から地震時すべりをインバージョンで求める。この地震時すべりをFEMモデルに与えて余効変動を計算する。観測されている余効変動データと比較し、これをもっとも説明する粘性構造を試行錯誤的に求めた。計算値と観測値の残差は余効すべりによって引き起こされたと仮定し、インバージョンによって余効すべり分布を求めた。得られた地震時すべりと余効すべり分布を改めてFEMモデルに投入し、関東地方の伏在断層におけるクーロン応力変化を計算した。関東地方の伏在断層におけるクーロン応力変化は10年間で0.3-0.4 MPa程度であり、地震活動に有意に影響を与える値である。この応力変化のほとんどは、アセノスフェアの粘性緩和によって引き起こされる。このことは、関東地方における応力変化を考える際の粘性緩和の重要性を意味している。一方、余効すべりによる応力変化は0.1 MPa程度であった。

キーワード：2011年東北沖地震、地殻変動、有限要素法、粘弾性、余効すべり、東北日本弧

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, Crustal deformation, Finite element modeling, Viscoelasticity, Afterslip, Northeast Japan arc

稠密地震観測網に基づく関東地方における地震の発震機構解 (2008年-2015年)

Focal Mechanism Solutions of Earthquakes in the Kanto Region during 2008-2015 Obtained from Highly Dense Seismic Array

*石辺 岳男¹、中川 茂樹¹、酒井 慎一¹、鶴岡 弘¹、平田 直¹、村岸 純¹、佐竹 健治¹

*Takeo Ishibe¹, Shigeki Nakagawa¹, Shin'ichi Sakai¹, Hiroshi Tsuruoka¹, Naoshi Hirata¹, Jun Muragishi¹, Kenji Satake¹

1. 東京大学地震研究所

1. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo

A highly dense seismic array observation network in and around Tokyo, called MeSO-net (Kasahara *et al.*, 2009; Sakai and Hirata, 2009), has been constructed and maintained. We determined 2,786 focal mechanism solutions of earthquakes in the Kanto region from April 1st, 2008 to February 9th, 2015 by using first-motion polarities observed by the MeSO-net, and compiled them as the MeSO-net First-Motion Focal Mechanism catalog (MeSO-FM²) (Fig.). This catalog includes reliable and accurate focal mechanism solutions for small-magnitude ($M \geq 1.9$) earthquakes which are not determined by other networks. The quality of focal mechanism solutions is generally better for earthquakes which occurred near the center of network and worse for earthquakes near the edge or outside the network. MeSO-FM² will be useful in investigating temporal changes following the occurrence of the 2011 Tohoku-Oki earthquake in detail, as well as spatial and temporal heterogeneity of stress fields in this region. Following the 2011 Tohoku-Oki earthquake, in the shallow depths, strike-slip and normal fault types with the T-axes striking roughly NE-SW or E-W directions have been increased. On the other hand, thrust-faulting earthquakes, which can be correlated with subductions of two oceanic plates beneath the Tokyo Metropolitan area, were typically activated in the intermediate depths.

We compared the focal mechanism solutions obtained in this study and those from JMA, for 862 pairs of earthquakes considered to be identical based on hypocenter information (i.e., origin time, longitude, latitude, depth, and magnitude). MeSO-net focal mechanism solutions basically showed good agreement with those provided by JMA, while some show significant discrepancies. In order to quantify the similarity between the focal mechanism solutions determined in this study and those from JMA, we used the Kagan angles, a three-dimensional rotation angle by which one double-couple earthquake source can be rotated into another arbitrary double-couple earthquake source (Kagan, 1991). The average and median Kagan angles between MeSO-FM² and JMA were 21.2° and 17.3°, respectively.

We first determined the hypocenters by using HYPOMH (Hirata and Matsu'ura, 1987) with the seismic velocity structure which is routinely used by the Earthquake Research Institute, the University of Tokyo. Then, we determined the focal mechanism solutions by using the first-motion polarities and a modified algorithm of HASH v.1.2 (Hardebeck and Shearer, 2002), a method of determining focal mechanisms taking into consideration possible errors in hypocenters, seismic velocity structures, and reported polarities. We omitted earthquakes with the ≤ 8 reported polarities from the analyses because the reliability and stability are considered to be low. We conducted grid searches for strike, dip, and rake angles at 2° intervals. The quality of focal mechanism solutions were classified as A, B, C, or D considering various criteria (see Hardebeck and Shearer, 2002 for the definition of qualities), and excluded the D quality events from the catalog.

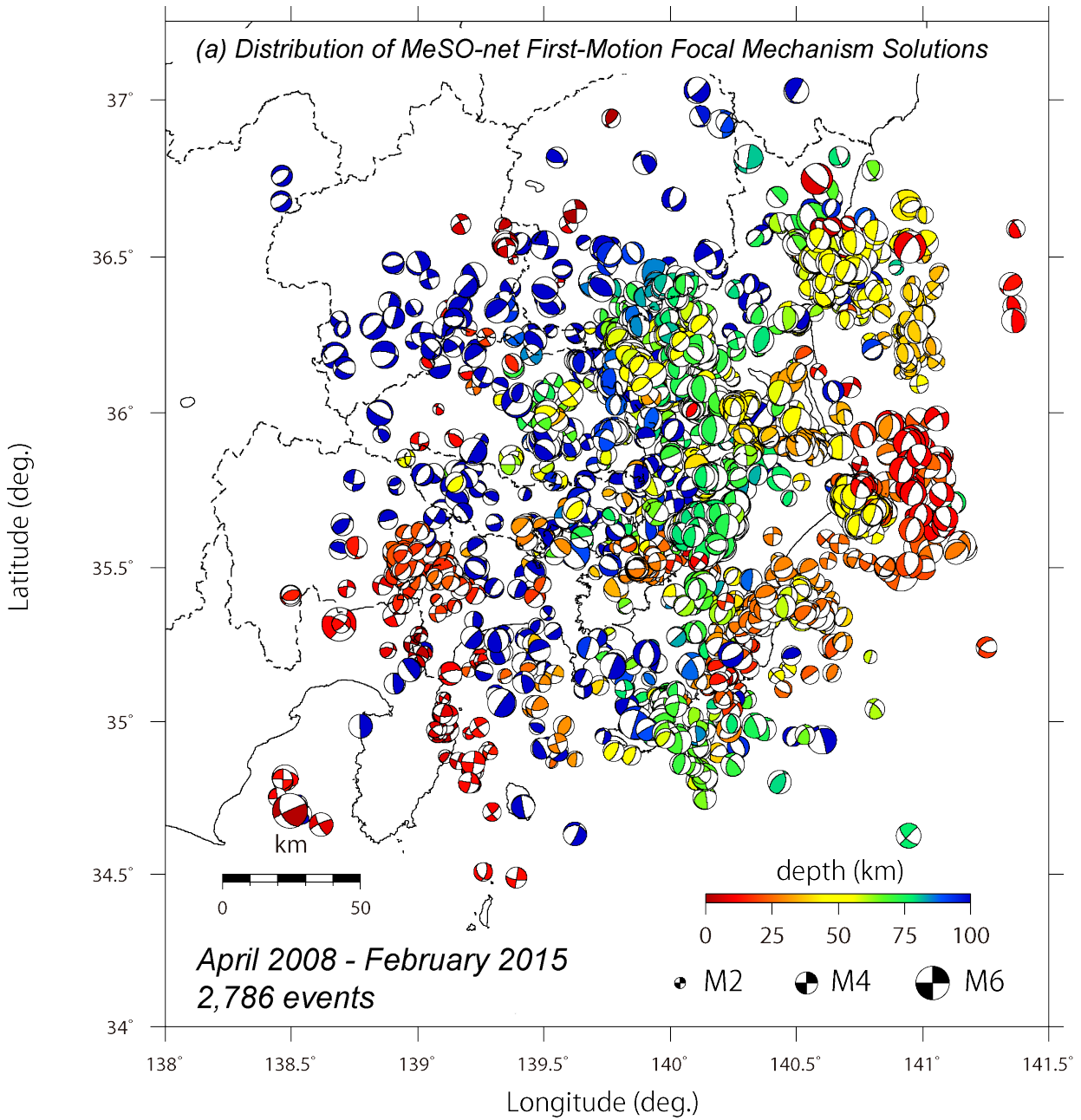
The catalog can be also utilized to investigate plausible fault models generating strong ground motions and tsunamis in the Tokyo Metropolitan area. Precise determinations of both hypocenters and focal mechanism solutions of earthquakes from dense array are also important to evaluate the

thickness of seismogenic zones and possible source regions of semi-historical earthquakes using recently-developed template matching technique (Ishibe *et al.*, 2015).

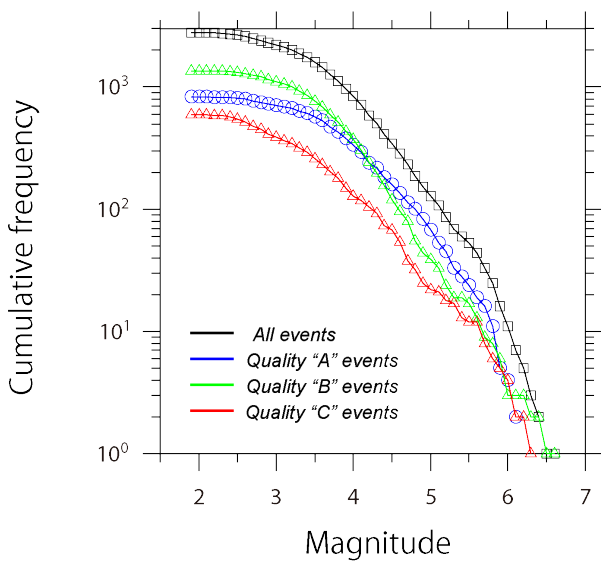
Acknowledgments: This study was supported by the Special project for reducing vulnerability for urban mega earthquake disasters and Special Project "Integrated Research Project on Seismic and Tsunami Hazards around the Sea of Japan" from the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan.

キーワード : Focal mechanism solution, Metropolitan Seismic Observation Network (MeSO-net)

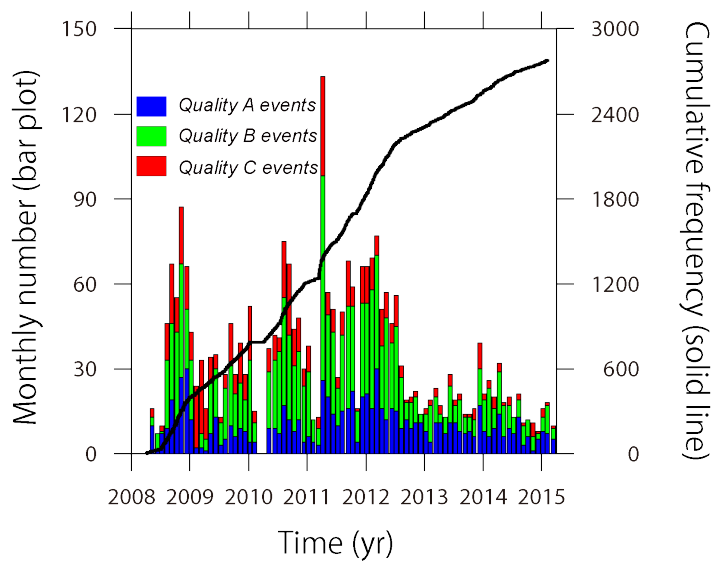
Keywords: Focal mechanism solution, Metropolitan Seismic Observation Network (MeSO-net)



(b) Cum. Magnitude Frequency Distribution



(c) Cum. Frequency Curve and Monthly Number



レプリカ交換モンテカルロ法を用いた首都圏地震動イメージング

Seismic wave field imaging based on the replica exchange Monte Carlo

*加納 将行¹、長尾 大道^{1,2}、石川 大智²、酒井 慎一¹、中川 茂樹¹、堀 宗朗¹、平田 直¹

*Masayuki Kano¹, Hiromichi Nagao^{1,2}, Daichi Ishikawa², Shin'ichi Sakai¹, Shigeki Nakagawa¹, Muneo Hori¹, Naoshi Hirata¹

1.東京大学地震研究所、2.東京大学情報理工学系研究科

1.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2.Graduate School of Information Science and Technology, the University of Tokyo

Earthquakes sometimes cause serious disasters not only directly by ground motion itself but also secondarily by damage of infrastructures, especially in the case of metropolitan areas that have numerous populations and capital functions in the country. For reducing such the secondary disasters, it is potent to evaluate seismic hazards rapidly by analyzing seismic response of each structure due to ground motion input from the bottom. In this study, we propose a methodology that consists of physics-based and data-driven approaches, in order to obtain seismic wave field as an input for seismic response analysis of structures. One of the Markov chain Monte Carlo (MCMC) methods, the replica exchange Monte Carlo, is adopted for the estimation of seismic wave field together with local crustal structure. Two numerical tests are conducted to examine the feasibility of the proposed method using the analytical solution with a horizontally layered crustal structure. The geometry of observation sites is referred to dense seismological network, Metropolitan seismic observation network (MeSO-net). It is confirmed that 1) the proposed method is possible to search the parameters related to the local crustal structure in broader space compared to a fundamental MCMC method, Metropolis method and 2) the seismic wave field estimated by the proposed method is almost coincident with the true wave field even if the local crustal structures are not so well estimated around the assumed values. On the other hand, the wave field estimated by the ordinary kriging, a classical interpolation method for spatial data, is hardly possible to reproduce the wave propagation and is much different from the true one even in low frequencies. This indicates that the proposed combined method taking both physics-based and data-driven approaches into consideration is essential for the seismic wave field imaging utilizing a dense observation network like MeSO-net. Acknowledgments: This research is supported by the Special project for reducing vulnerability for urban mega earthquake disasters from the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan.

キーワード：マルコフ連鎖モンテカルロ法、MeSO-net、波動場、地震動

Keywords: MCMC, MeSO-net, seismic wave field, earthquake ground motion

首都圏の地震発生予測モデルの構築に向けて：プロスペクティブテスト3ヶ月予測の経過報告

Three-dimensional earthquake forecasting model for the Kanto district: Progress reports of prospective tests for 3-month forecasting

*横井 佐代子¹、鶴岡 弘¹、平田 直¹

*Sayoko Yokoi¹, Hiroshi Tsuruoka¹, Naoshi Hirata¹

1.東京大学地震研究所

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

関東地方は本州弧の地殻内からフィリピン海スラブ、太平洋スラブに関連した浅発および稍深発地震の活動が活発であり、地震発生頻度の高い「深さ」が存在する。そこで私達は、地震活動の評価に基づく地震発生予測検証実験の「関東領域」と比較可能な予測領域で発生する地震の経度・緯度・深さを精度よく予測する三次元地震発生予測モデルを構築することを目的として2012年から研究を開始した。Relative Intensityモデル（以下、RIモデルとする。Nanjo, 2011 [EPS, 63 (3) 261-274]）を三次元地震発生予測モデルの土台とし、名前を3D-RIモデルとした。レトロスペクティブテスト（遡及的予測実験）によって3D-RIモデルのパラメータを2011年東北地方太平洋沖地震前の地震活動に最適化した。次に、3D-RIモデルが2015年2月以降の地震をどの程度予測できるかを評価するために2015年2月1日からプロスペクティブテスト（事前予測実験）を開始した。予測実験の予測対象は、3ヶ月間のM 4.0以上の地震とした。学習条件は、M 2.5以上、平滑化半径は7.5、10、20、50 kmとし、期間は以下の3種とした。期間1) 1998年1月1日－2011年1月1日：2011年東北地方太平洋沖地震前の気象庁一元化地震カタログの確定値。期間2) 1998年1月1日－予測期間の前の日：2011年東北地方太平洋沖地震前と後の気象庁一元化地震カタログ。期間3) 2012年1月1日－予測期間の前の日：2011年東北地方太平洋沖地震後の気象庁一元化地震カタログ。予測は、予測期間終了後に『地震活動の評価に基づく地震発生予測検証実験』（三次元地震発生予測モデル用に改良したもの）と同様の方法で評価した。3回分の予測実験の期間中の地震活動度は、地震数は2011年東北地方太平洋沖地震の前の平均 $\pm 2\sigma$ 程度に、空間分布は、銚子沖深さ10 -50 kmの領域で2011年東北沖地震の余震が観測された。検証の結果、期間1)を学習した3D-RIモデルは、地震数を過小評価した。同時に、東北沖地震の余震を学習できなかったために空間予測は3つの期間の中で1番悪くなった。この結果から、期間1)を学習した3D-RIモデルは現在の首都圏の地震活動を予測するには力不足であることが示された。また、期間2)を学習した3D-RIモデルは、3つの期間を学習したモデルの中で地震数、空間分布の予測共に1番良い成績を示した。期間3)を学習した3D-RIモデルは、空間分布の予測は2番目に良かったが、地震数をいつも過大評価し数のテストで棄却された。地震数の予測について、大森宇津則と3D-RIモデルで学習期間（期間4）2013年8月1日から予測期間の前日までにする）を変える方法でさらに良くなるか検討したところ、3D-RIモデルの期間2)より改善したので、今後の予測実験でさらに検証を進めモデルの高度化につなげる。

本研究において、気象庁地震カタログを使用しました。記して感謝します。なお本研究は文部科学省受託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」の一環として行われています。

キーワード：三次元地震発生予測モデル、関東地方、プロスペクティブテスト、地震活動の評価に基づく地震発生予測検証実験

Keywords: Three-dimensional forecasting model, Kanto district, Prospective forecasting, Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability