

災害時と平常時の交通マネジメントのためのデータ融合と解析

金進英^{*1} 花房比佐友^{*2} 桑原雅夫^{*1} 大畑長^{*1} 堀口良太^{*2}

浦山利博^{*3} 佐口治^{*3} 江藤和昭^{*4} 家森崇文^{*5}

櫻井康博^{*6} 本間基寛^{*6} 益田卓朗^{*7}

東北大学^{*1} (株)アイ・トランスポート・ラボ^{*2}

アジア航測(株)^{*3} (株)オリエンタルコンサルタンツ^{*4} 住友電気システムソリューション(株)^{*5}

一般財団法人日本気象協会^{*6} 本田技研工業株式会社^{*7}

本稿では、自然情報、災害情報、モビリティ情報を有機的に結合したデータベースを作成し、それに基づいて災害時の避難行動支援や平常時の渋滞解消のための交通マネジメントのためのデータ融合解析を行うシステムについて紹介する。具体例として東日本大震災を再現するために宮城県の海岸部の一部地域を対象として、津波情報、浸水情報を収集し、それに道路ネットワークを重ね合わせて、被災道路を考慮した避難シミュレーションを構築した。本シミュレーションを用いて、迅速な避難のために必要な道路インフラの配置・容量、避難所の配置などを解析した。

Analysis System of Data Fusion for Traffic Management in Disaster and Normal Situations

Jinyoung Kim^{*1} Masao Kuwahara^{*1} Takeshi Ohata^{*1} Ryota Horiguchi^{*2} Hisatomo Hanabusa^{*2}

Toshihiro Urayama^{*3} Osamu Saguchi^{*3} Kazuaki Etoh^{*4} Takafumi Yamori^{*5}

Yasuhiro Sakurai^{*6} Motohiro Honma^{*6} Takuro Masuda^{*7}

Tohoku University 1^{*1} i-Transport Lab. Co., Ltd^{*2}

Asia Air Survey Co., Ltd^{*3} Oriental Consultants Co., Ltd^{*4} Sumitomo Electric System Solutions Co., Ltd^{*5}

Japan Weather Association^{*6} Honda Motor Co., Ltd^{*7}

In this research, we suggested an improved method of constructing database for data fusion of mobility, disaster, externals etc. And analysis system of the data fusion was developed using the database for creating information for traffic management in disaster and normal situations. We built an evacuation simulation as one example of data fusion analysis system. Not only network and OD data but also population and tsunami data were used as inputs. The Great East Japan Earthquake was simulated and analyzed traffic flow. Road and shelter capacity /location were evaluated using the simulation results.

Keyword: data fusion, database, evacuation simulation

1. はじめに

我が国は、今般の東日本大震災など甚大な自然災害を経験しており、地域防災力の向上に努める必要がある。東日本大震災の大津波においても、事前の防災対策の重要性とともに、被害を最小限に食い止める避難支援などの減災対策の重要性も認識された。

そこで、本稿では、自然情報、災害情報、モビリティ情報を有機的に結合したデータベースを構築し、それに基づいて、災害時や平常時に有効なモビリティ情報などを生成するためのデータ融合解析を行うシステムについて紹介する。適用例として仙台-石巻地域を対象として、津波情報と交通情報、さらに被災道路を考慮した避難シミュレーションを構築し、東日本大震災を再現することで、災害時の自動車による避難行動状況の把握を行う。本研究の結果は、道路インフラの容量や避難所の配置などを考慮した避難計画の適用に期待できる。

2. 多様なデータ融合のためのデータベースの構築

2-1 データベースの位置づけと課題

本研究は、限られた実空間の情報をを用いて仮想空間上でデータ融合解析を行い、得られた情報を実空間に還元することを目指す。仮想空間は、地形データや道路ネットワークデータ等の災害素因データ、気象データ等の災害誘因データ、プローブデータ等、および、それらを用いた災害シミュレーションや交通シミュレーション等の結果により、実空間の災害状況、交通状況等を再現・生成する。本研究のデータベースは、前述の多様なデータを格納・管理し、研究者やシミュレータ等とのデータ交換を行う役割

を担う。データベースとしては、原データはそのまま原データを格納・共有でき、且つ、各々のデータを同一空間で管理する機能を持たせるものとした。原データをそのまま格納共有できる1次データベースについて報告する。

2-2 データベースの構成

データベースおよび関連システムとの構成を図1に示す。データ格納領域の構成としては、自然情報・災害情報・交通情報の素因・誘因・融合解析結果、個人発着情報などの原データにメタデータを付加し、原データをそのままアーカイブする1次データベースと、各種データを時間軸と空間軸で整合（時空間マップ処理）を図り、仮想世界上で表現や融合解析時のデータの利用率を考慮した2次データベースとの2段階構成とする。

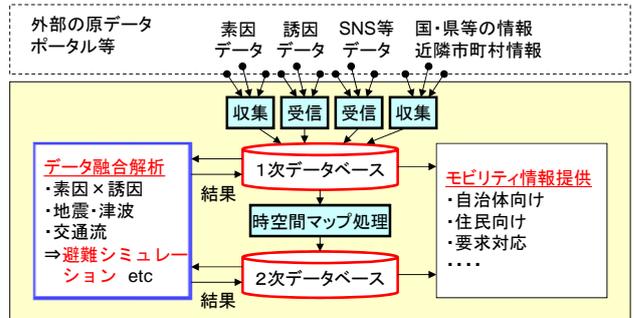


図1 データベース構成と融合解析システムとの関係

2-3 メタデータ方式による1次データベース

1次データベースは、以下を基本方針として設計・試作した。利用フローを図2に示す。

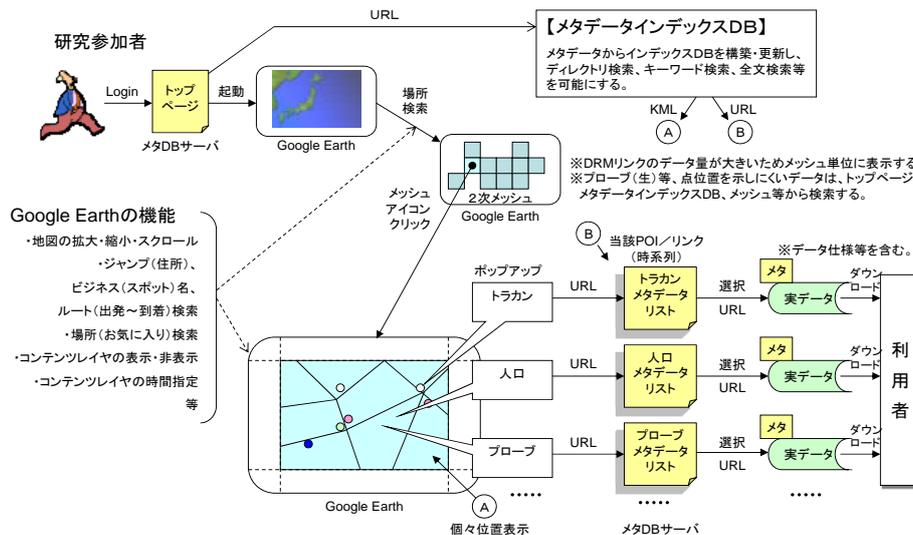


図2 1次データベースの利用フロー

- ・原データの提供・収集促進のため、原データにメタデータ¹⁾を付加し格納。
- ・地図からの検索、および、インデックスからの検索・位置参照が可能。
- ・データベース管理と利用のし易さ（簡便な操作、応答性、継続性、汎用性等）に配慮。
- ・地図プラットフォームは、Google Earth を利用、簡易ビューアとしても利用可能。
- ・融合解析結果の登録と二次的利用も可能。

3. 災害時のデータ融合解析システム

本研究では、桑原ら²⁾によって提案されたデータ融合解析システムの概要に基づき、避難シミュレーションを構築した。避難シミュレーションを用いたデータ融合解析フローは図3のようである。災害時の交通状況情報や、道路インフラの容量、避難所の配置などが避難行動にどのような影響を及ぼすかなどの分析することで、避難行動を支援する情報の生成が可能になる。

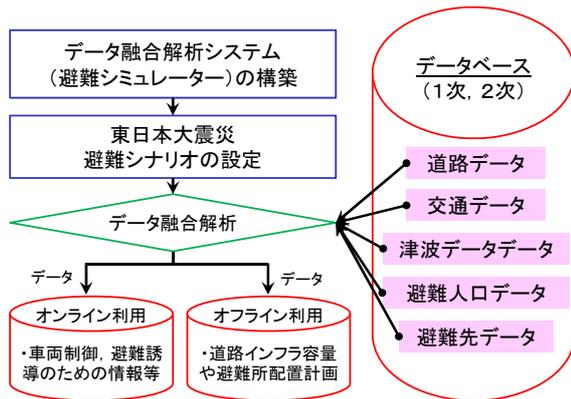


図3 データ融合解析フロー

3-1 避難シミュレーション

図4に避難シミュレーションのフレームワークを示す。本研究における避難シミュレーションは、交通流シミュレータ SOUND³⁾を基本として、①災害イベントモデル、②避難行動モデルの機能を加えることで、車両による避難行動が再現できる避難シミュレーションを構築した。

- ① 災害イベントモデル：地震による道路閉鎖、津波による道路浸水等のシナリオを受けて、各時刻における道路閉鎖をシミュレーションへの与件として設定する。
- ② 避難行動モデル：発災時以降の避難行動開始割合の時間変化をシナリオとして指定し、各ゾーンで発生する避難者を、付近の緊急避難所や高

台などの一次避難場所へ目的地を設定し、シミュレーションへの与件とする。

3-2 対象ネットワーク及びデータ

本研究では、東日本大震災の再現を試みるため、図5の色塗りで表すように宮城県の海岸部の一部（10個の市町村）を分析対象とした。この地域内の避難所データは、各市町村のホームページを参考にしている。本研究は車両による避難を考慮しているため、避難可能な場所のうち、主に「避難所」や「指定避難所」として区分されているものを対象にしている。避難所の分布は図5の三角形で表示されており、各市町村の避難所の数は表1のようである。

また、本研究で使われる津波データは、津波シミュレーション^{4), 5), 6)}を用いて、対象地域における浸水状況を再現した結果である。今回の陸上域は約50mメッシュで設定をして、1分間隔の津波浸水深(m)及び流速(m/s)を算出した。

3-3 避難シミュレーションのシナリオ

本研究では、「東日本大震災の避難被災現況調査結果（平成23年12月26日、第3次報告）」⁷⁾に基づいて、避難シミュレーションのシナリオ設定を行った。

まずは平常時のOD交通量を用いてシミュレーションを行う。ある時刻から災害が発生すると、平常時のOD交通量の発生は中止にして、ネットワーク上に通行していた車両が避難車両になり（以下、残留避難交通量と称する）、「避難行動開始割合」によって目的地を平常時の目的地から避難所又は高台に変更する。一方、通常は発生しないが、避難をするために新たに発生する交通量（以下、潜在避難交通量と称する）も考慮しなければならない。今回の東日本大震災は午後2時46分に発災したため、昼間人口を用いることにした。上記の調査結果⁷⁾によると、車を利用して避難した人は約50%であることが分かっているので、昼間人口の50%が車で避難をし、1台には平均3人が乗車すると仮定した。その他、シミュレーションに必要なシナリオ内容をまとめたのが以下の表2である。

また、避難行動モデルにおける、発災時以降の時間変化による避難行動開始割合も上記の調査結果⁷⁾に基づき、図6のように5分おきに更新されるように設定した。潜在避難交通量は5分間でランダムに発生して避難所に向かい、残留避難交通量は5分間隔で一斉に目的地を変更するように設定をした。発生から1時間5分後（15:51）には全車両が避難所へ向かうようになっている。

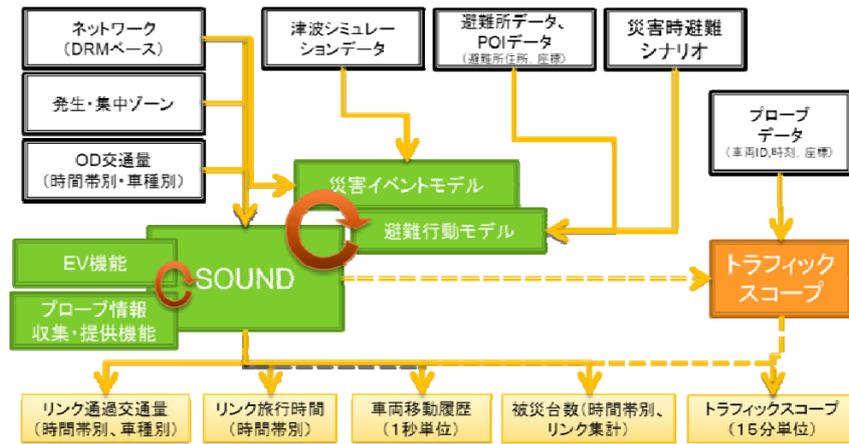


図4 避難シミュレーションのフレームワーク

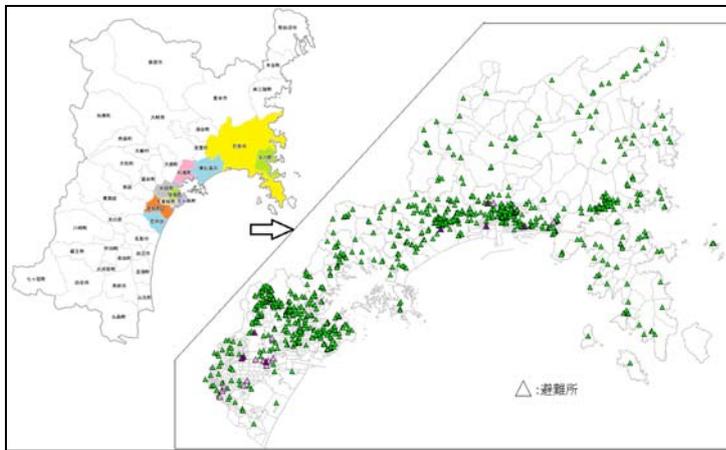


図5 シミュレーションの対象地域と避難所位置

表1 対象地域の避難所数

地名（市町村）	避難所数（ヶ所）
石巻市	271
女川町	80
東松島市	109
松島町	35
利府町	145
塩竈市	36
七ヶ浜町	64
多賀城市	44
宮城野区	43
若林区	33
計	860

表2 避難シミュレーションのシナリオ

設定項目	シナリオ
発災遅刻	14:46（この時刻から避難開始）
避難発生交通量	発災前：平常時のOD交通量によるネットワーク上の残留交通量／発災後：対象地域（昼間）人口の50%が車両を利用して避難し、1台には平均3人が乗車
避難地選択モデル	表1で表した避難所又は海拔30～50mの高台のうち近いところ
経路選択モデル	発災前／発災後：最短経路選択モデル

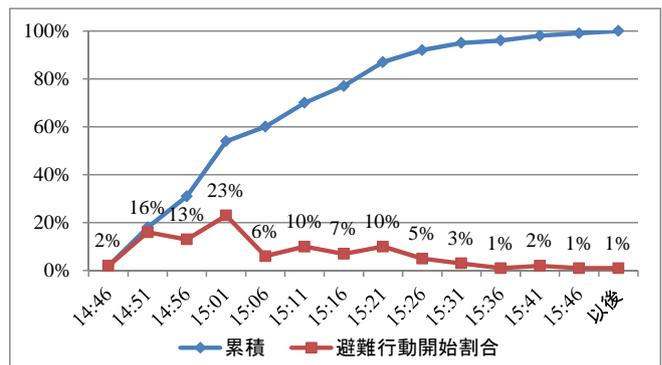


図6 避難行動開始割合

3-4 避難シミュレーションの結果

まずは、災害が発生してから、各車両が避難所に向かって避難を開始した時刻と、避難所まで着くのにかった所要時間を集計したのが図7である。グ

ラフのプロットは1秒ごと、折れ線は1分ごとの避難開始時刻（横軸）と避難所までの平均所要時間（縦軸）を表している。図によると、対象地域内では平均5分以内に避難できるような場所に避難所が分布

されていることが分かる。しかし、発災から時間が経つにつれて避難所までの所要時間が長くなってばらつきも大きくなっている。今回のシミュレーション結果で無事に避難所まで避難できた 120,356 台の車両のうち、所要時間が 20 分以上かかった車両が 2.2% (2,637 台) と 25 分以上が 1.8% (2,212 台) であることが分かった。ここで 20 分以上かかった車両が向かった避難所は、図 5 の避難所のうちピンク色で、25 分以上は紫色で示しており、それぞれが 22ヶ所と 8ヶ所である。図をみると、渋滞が起きている避難所は何か所かの地域に偏っていることが分かる。それゆえ、車を考慮した避難計画を行う際には、このような地域を区分する必要があると考えられる。

避難シミュレーションでは、1 分間隔の津波浸水状況を与件として設定した。したがって、津波の浸水によって被災された車両が発生する。本シミュレーションの結果から津波による被災台数を表したのが図 8 である。左縦軸は各時刻の被災車両台数を、右縦軸はそれの累積台数を示しており、合計 7,146 台が被災されたという結果が得られた。一方、宮城県から公表されたデータによると、2012 年 9 月 30 日現在の東日本大震災における死者及び行方不明者は 11,725 人⁸⁾、津波による被災自動車の台数(推計)⁹⁾は 14 万 6 千台である。これらの数値とシミュレー

ション結果を合わせると、死者及び行方不明者の半分以上が車両による移動中に被災されていることになる。本結果の妥当性を議論するためには、まずシミュレーションの再現精度について検討する必要がある、今後の課題とする。

図 9 の (a) は地震発災 (14:46) 直後の 15 分間の平均リンク速度を、(b) から (c) は道路上に被災された時点の車両の位置 (黒い点) と、その時間帯のリンクの平均速度を示したものである。図によると、災害直後はネットワーク全般において渋滞が始まろうとしており、凡例をみると 15-30km/h のリンクも多くみられる (ここで、-1-0 は利用されていないリンクを示す)。一方、発災からの約 1 時間後の 15:30 からは主に石巻市で車が被災され、15:45 から 16:00 までは石巻市、東松島市と仙台市に渡って被災の範囲が広がって、全被災者量の 71%がこの 30 分間で被災されたことが分かった。その後、16:00 からは仙台市の方に被災が大きくなっており、16:00 から 16:15 まで被災された車両は 1,666 台 (18:00 まで 2,064 台) であると推計された。被災車両があるリンクは赤くなっているところが多く、渋滞に巻き込まれている間に被災された車両が多いと思われる。これらの渋滞の原因については車両の軌跡を用いたより詳細な分析が必要であり、今後の課題とする。

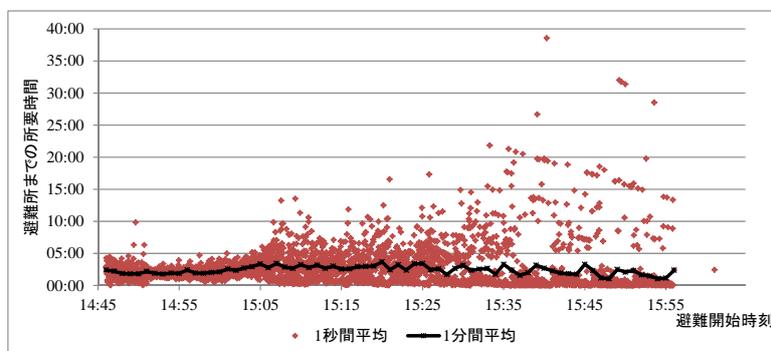


図 7 避難開始時刻別の避難所までの平均所要時間

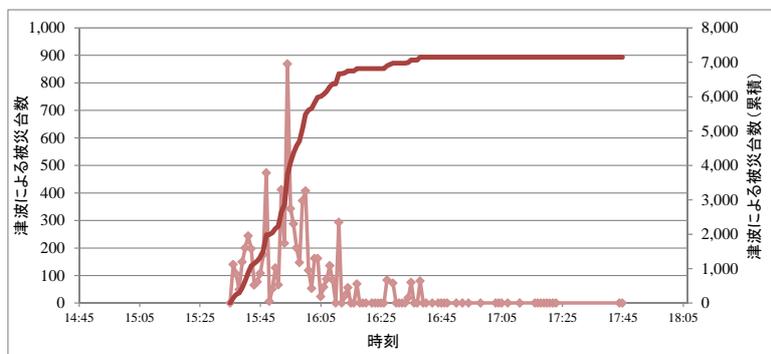


図 8 避難による被災台数

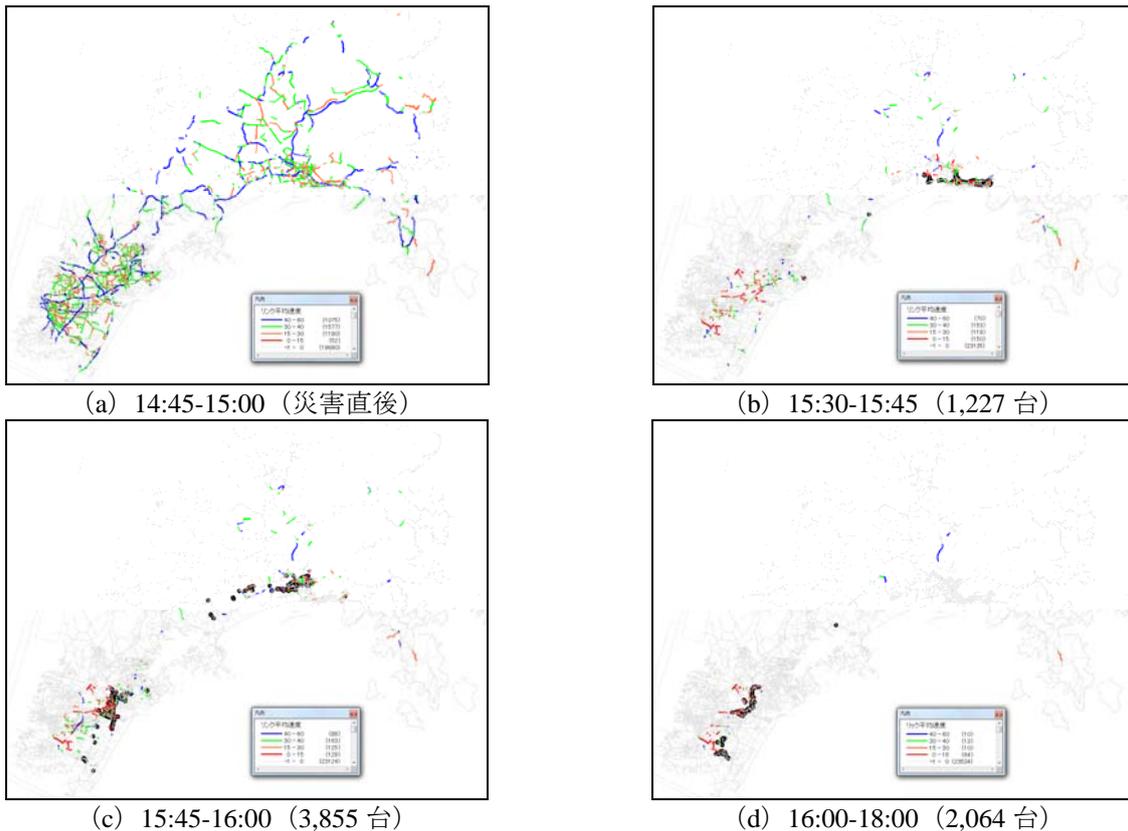


図9 被災された車両の位置とリンク平均速度

4. おわりに

本研究では、自然情報、災害情報、モビリティ情報を有機的に結合したデータベースを構築し、新たな情報を生成するためのデータ融合解析の一例として、避難シミュレーションを用いたネットワーク解析を行った。今回は、実際の道路データ、津波データ、交通、人口データを用いて東日本大震災の再現を試みた。津波データから津波によって閉鎖された道路やその道路上の被災された車両の再現は可能になったものの、より現実的なシミュレーションの結果を得るためにはシナリオの再検討や、歩行による避難者との混在状況の考慮、経路及び避難所選択行動の改良などが必要であると考えられる。

本研究では、避難シミュレーションの再現性についてはまだ検討が行われておらず、プローブデータ等を用いた再現精度の検証が必要である。また、研究結果を避難行動支援情報の生成や避難計画等への適用するためのより詳細な分析も今後の課題とする。

[参考文献]

- 1) Marc Miska, Alexandre Tarday, Hiroshi Warita, Masao Kuwahara: The International traffic database project, 2009.
- 2) 桑原雅夫 (他 13 名) : データ融合による災害時および平常時のモビリティ情報の生成, 日本災害情報学会, 2012.
- 3) 小出勝亮, 白石智良, 飯島護久, 堀口良太, 田中伸治: グリッドコンピューティングによる日本全国交通シミュレーションシステムの開発, 第9回 ITS シンポジウム 2010 予稿集, 354-358, 2010.12.
- 4) 後藤智明, 小川由信: Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法, 東北大学工学部土木工学科資料, 1982.
- 5) 藤井雄士郎, 佐竹健治: 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の津波波源 (暫定結果, Ver. 4.2 と Ver. 4.6), 2011.
- 6) 小谷美佐子, 今村文彦: GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, 356-360, 1998.
- 7) <http://www.mlit.go.jp/common/000186474.pdf>
- 8) <http://www.pref.miyagi.jp/kikitaisaku/higasinihondai/sinsai/pdf/10051600.pdf>
- 9) <http://www.pref.miyagi.jp/kohou/kenseidayori/backnumber/201107/topics/car.htm>