

社会・技術動向講演会 2023 in 東京

測量学の視点から見た防災
—局所地形と各種災害の関係

千葉工業大学名誉教授 小泉 俊雄

測量学の視点から見た防災

—局所地形と各種災害の関係—

小泉俊雄

ご紹介頂きました小泉です。今日のタイトルは、「測量学の視点から見た防災、局所地形と各種災害の関係」です。

防災に関する私の研究の一端を紹介しながら、測量と防災の関りを考察する。

発表内容

- 1 局所的な風力分布におよぼす地形の影響
- 2 林野火災の延焼予測
- 3 広島原爆の被害分布図作成と、被害におよぼす比治山の影響
- 4 既存航空写真、旧版地形図等を利用した地震による家屋被害と地盤形成履歴との関係分析

私の専門は測量学ですが、測量の応用として、防災の研究にも関わってきました。今回、関東大震災100年に当たり、防災に関する私の研究の一端を紹介しながら、測量と防災の関わりを考察してみたいと考えます。

発表内容ですが、まず初めに「局所的な風力分布におよぼす地形の影響」についてお話しします。なぜ測量屋がこのような研究に取り組んだかというと、測量は地形を扱いますので、測量の応用分野として取り組みました。そしてこの研究は、2番目の林野火災の延焼予測、3番目の広島原爆被害、4番目の家屋被害と地盤形成履歴との関係分析へと広がりました。

これ(次のスライド)は、今日の発表に引用した私の論文です。今回は発表時間が短いのので、詳細に説明できませんので、必要な方はこの論文を参照下さい。

今日の発表に引用した私の論文

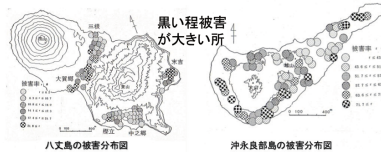
- 1 局所的な風力分布におよぼす地形の影響
- 1) 小泉俊雄: 空中写真を用いた風速調査と地形因子による被害率の推定, 写真測量とリモートセンシング, Vol.15, No.4, 1978
- 2) 羽倉弘人, 小泉俊雄: 沿岸学: 台風災害におよぼす局所地形の影響に関する研究(Ⅰ)—1975年台風13号による八丈島の風害について(その1) 風害分布—I, 日本建築学会論文報告集, 第278号, 1978年
- 3) 羽倉弘人, 小泉俊雄: 沿岸学: 台風災害におよぼす局所地形の影響に関する研究(Ⅱ)—1975年台風13号による八丈島の風害について(その2) 風害分布-II, 日本建築学会論文報告集, 第281号, 1978年
- 4) 羽倉弘人, 小泉俊雄: 台風災害におよぼす局所地形の影響に関する研究(Ⅲ)—1977年台風9号(沖永良部台風)による沖永良部島の風害について—, 日本建築学会論文報告集, 第324号, 1980年
- 5) 羽倉弘人, 小泉俊雄: 暴風災害に関する地形分類法と暴風災害予測法—台風災害におよぼす局所地形の影響に関する研究(Ⅳ)—, 日本建築学会論文報告集, 第332号, 1983年
- 6) 羽倉弘人, 小泉俊雄: 地形因子を考慮に入れた地表風の強さの算定—台風災害におよぼす局所地形の影響に関する研究(Ⅴ)—, 日本建築学会論文報告集, 第363号, 1988年
- 2 林野火災の延焼予測
- 1) 小泉俊雄: 地形因子および延焼速度を考慮した林野火災被害区域予測法に関する研究—群馬県万場町の林野火災を例として—, 日本火災学会論文集, 47(1), pp.33-43, 1997年
- 2) 小泉俊雄: 地域情報: 林野火災におよぼす局所地形の影響に関する研究—広島県竹原市の林野火災を例として—, 日本火災学会論文集, 50(2) pp.9-22, 2000年
- 3) 小泉俊雄, 竹園博人: 林野火災の延焼におよぼす局所地形の重要性—各務原市の林野火災を例として—, 日本森林学会誌, 48(4) pp.211-220, 2006年
- 3 広島原爆の被害分布図作成と、被害におよぼす比治山の影響
- 1) 羽倉弘人, 小泉俊雄: 原爆投下直前の広島市市街地の数値地図作成, 応用測量論文集, Vol.18, 2005年
- 2) 小泉俊雄, 羽倉弘人, 小泉俊雄: GISを用いた広島原爆の被害分布図作成に関する研究, 応用測量論文集, Vol.18, 2007年
- 3) 福家和代, 小泉俊雄: GISを用いた広島原爆の被害分布図作成に関する研究(資料の充実), 応用測量論文集, Vol.19, 2008年
- 4) 小泉俊雄, 渡辺正延, 水谷清博, 高山和善: 広島原爆被害におよぼす比治山の地形効果に関する基礎的検証, 日本測量学会論文集, 第36巻第3号(通号第124号), 2011年
- 4 既存航空写真、旧版地形図等を利用した地震による家屋被害と地盤形成履歴との関係分析
- 1) 小泉俊雄, 小泉俊雄, 阿部三樹: 既存航空写真、旧版地形図等を利用した地震による家屋被害と地盤形成履歴との関係分析, 応用測量論文集, Vol.23, 2012年
- 2) 小泉俊雄, 阿部三樹: 航空写真で現在の土地を紐む—地震の危険箇所を知るために—, 彰国社, 2014年

1 局所的な風力分布におよぼす地形の影響

- 昭和50年(1975年)台風7513号による八丈島の風害
- 昭和52年(1977年)台風7705号による石垣島の風害
- 昭和52年(1977年)台風7709号による沖永良部島の風害

<アイデア、方法の特徴>

暴風災害による被害分布に地域差があるのは地形が関係しているのではないかと、ならば地形を解析すれば暴風災害の被害分布が推定できるはず



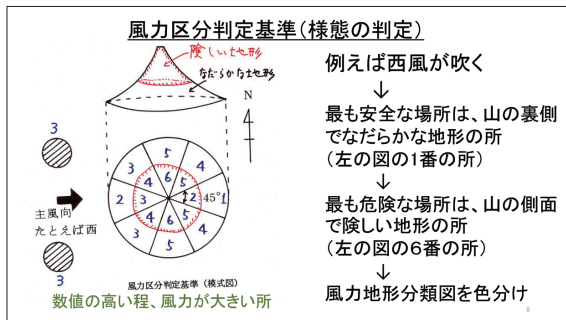
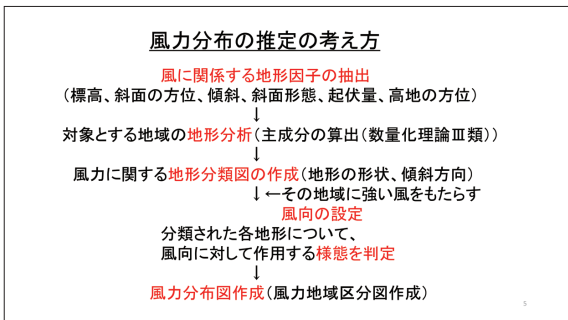
それでは、1番目の「局所的な風力分布におよぼす地形の影響」についてお話しします。

昭和50年(1975年)に台風7513号が八丈島を、次いで昭和52年(1977年)に台風7705号が石垣島を、台風7709号が沖永良部島を襲い、暴風により家屋に大きな被害が発生しました。

下の図は、私が航空写真で家屋の被害を判読して作成した八丈島と沖永良部島の家屋の被害分布図で、黒い程被害が大きい所です。両島とも周囲約50数kmの小さな島ですが、小さな島であるにもかかわらず被害分布に大きな地域差が見られました。石垣島も同様でありました。

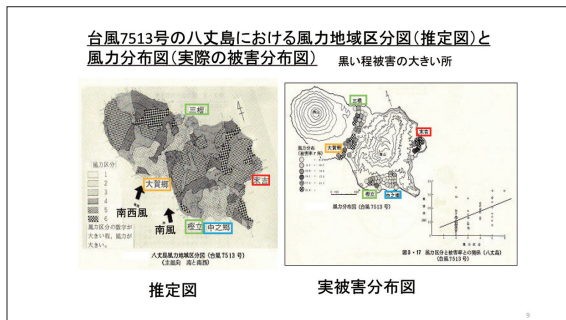
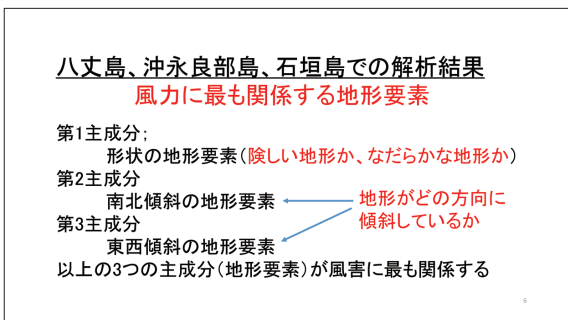
暴風災害による被害分布に地域差があるのは、地形が関係しているのではないかと、しからば、地形を解析すれば暴風災害の被害分布が推定できるのではないかとという発想です。

これ(次のスライド)は、風力分布の推定の考え方です。風は地形に影響されますので、風に関係する地



形因子を抽出し、対象とする地域の地形分析を行い、それを基に、風力に関する地形分類図を作成し、その地域に強い風をもたらす風向を設定し、分類された各地形について、風向に対して作用する様態を判定すれば、風力分布図が得られるという考え方です。

これは、風力区分判定基準です。例えば西から強風が吹いたとすると、最も安全な場所は、山の裏側のなだらかな地形のところ、左の図の1番の所で、最も危険な場所は、山の側面で陰しい地形の所、左の図の6番の所というように決めて、風力地形分類図を色分けしました。



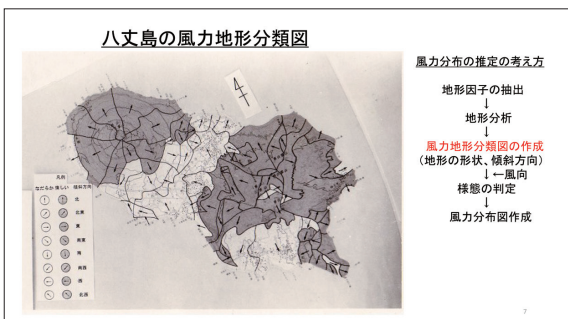
これは、八丈島、沖永良部島、石垣島での解析結果です。主成分分析の結果、風力に最も関係する地形要素は、陰しい地形か、なだらかな地形かを表わす「形状の地形要素」と、地形がどの方向に傾斜しているかを表わす「傾斜方向の地形要素」であることが分かりました。

これは、台風7513号の八丈島における風力地域区分図(推定図)と、風力分布図(実際の被害分布図)です。黒い程被害の大きい所です。

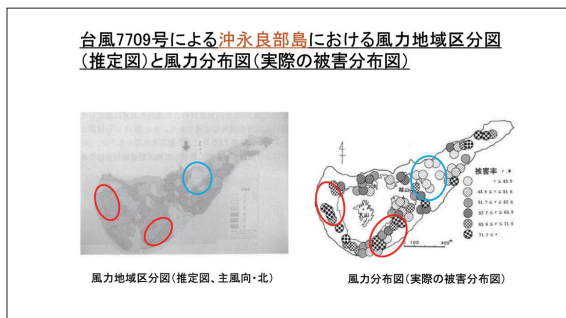
左側が推定図で、強風の吹いた南西の風と南風を吹かせて推定しました。

右側は実被害分布図です。

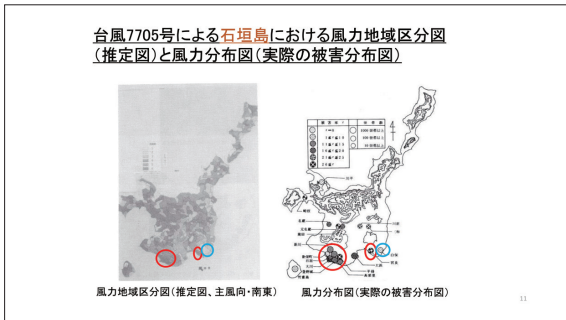
両者を比較しますと、最も風の強い地域は、赤で示す末吉で、次いでオレンジの大賀郷であり、緑の三根、檜立がこれに続き、水色の中の郷が最も小さい地域になっており、うまく推定していることがわかります。



これは、八丈島の風力地形分類図です。黒い所が陰しい地形、白い所がなだらかな地形、矢印は傾斜している方向です。



これは、沖永良部島のもので、赤の周辺は被害が大きく、水色の周辺は被害が少ないと言うように、ほぼ推定している事が分かります。



これは、石垣島です。石垣島でもほぼ推定しているのが分かります。

八丈島、沖永良部島、石垣島の3つの事例から、この推定法はそれなりに評価できるのではないかと考えます。

2. 林野火災の延焼予測

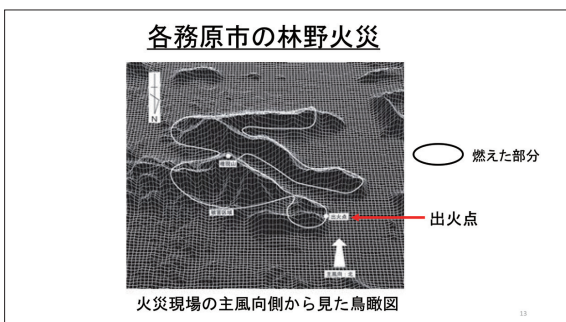
平成5年(1993年)群馬県万場町の林野火災
平成6年(1994年)広島県竹原市の林野火災
平成14年(2002年)岐阜県各務原市の林野火災

<アイデア、方法の特徴>

林野火災の延焼は風と地形が関係するので、これまでの風と地形の研究成果が使えるのではないかと考え、風力分布の考え方を適応

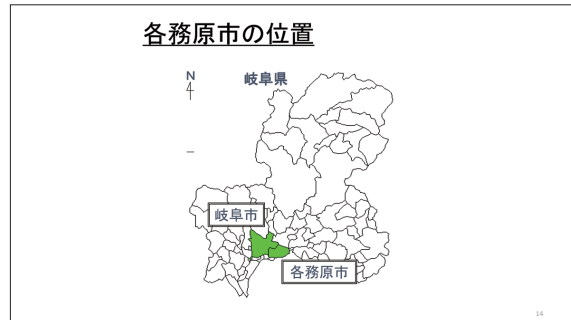
次は、林野火災の延焼予測です。

平成5年(1993年)に群馬県万場町に、平成6年(1994年)に広島県竹原市に、平成14年(2002年)に岐阜県各務原市に、大規模な林野火災が発生しました。林野火災の延焼は、風と地形が関係するので、これまでの風と地形の研究成果が使えるのではないかと考え、風力分布の考え方を適応してみました。



各務原市の林野火災を例にとり説明します。この図

は、火災現場の主風向側から見た鳥瞰図です。赤い矢印で示すところが出火点で、線で囲まれたところが燃えた部分です。

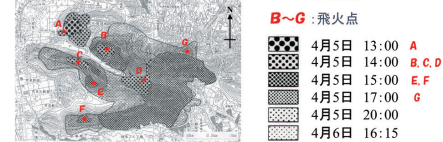


各務原市は、岐阜県の南部に位置しています。

火災概要

出火日時:2002年4月5日 13:10頃 出火時の主風向:北
鎮火日時:2002年4月6日 16:15 出火時最大瞬間風速:13.5m/s
総被害面積:409.73ha (木の太枝が揺れ、傘がさしにくい)

損害額:約8億2600万円



火災の概要です。

出火日時は2002年4月5日13時10分ごろで、鎮火日時は翌6日の16時15分です。

出火時の主風向は北

出火時の最大瞬間風速は、13.5m/sです。

左下の図は、火災動態図です。

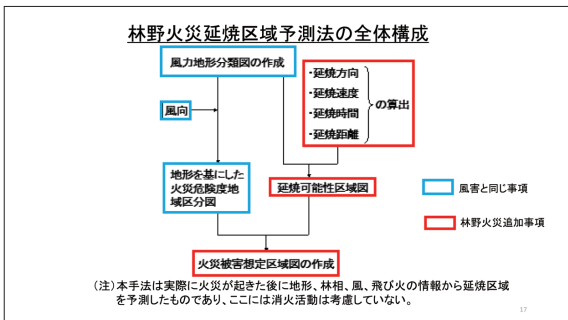
火災は、A点で発生し、B、C、D、E、F、G点へと飛火し、黒い方から淡い方へと拡大しました。

出火点A点の延焼状況 (主に延焼したと考えられる5日20時まで)

出火: 5日13:10 風向 N 風速5.2m/s 延焼時間 2.3時間
風向変化①:5日15:30 風向 NW 風速6.7m/s 延焼時間 1.5時間
風向変化②:5日17:00 風向 W 風速6.4m/s 延焼時間 3時間

風向は北→北西→西と変化

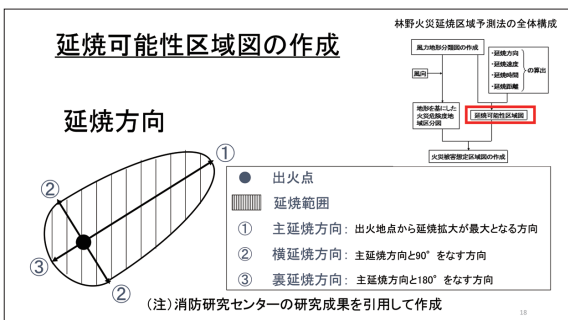
これは、出火点A点の延焼状況で、主に延焼したと考えられる5日20時までのものです。風向は北から北西、そして西風へと変化しました。



これは、林野火災延焼区域予測法の全体構成です。水色の部分は風害と同じ事項です。

赤の部分は林野火災で追加された事項です。赤の部分のみ説明します。具体的には、観測された延焼状況をもとに、延焼方向、延焼速度、延焼時間、延焼距離を算出し、「延焼可能性区域図」を作成します。そして、火災被害想定区域図を作成します。

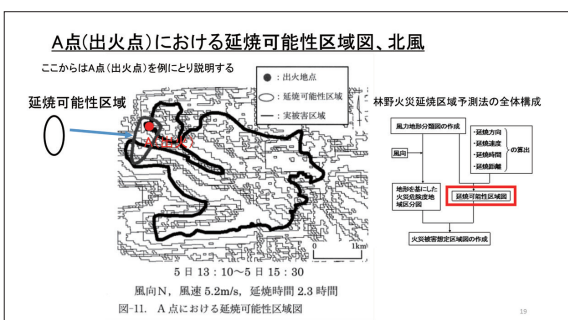
なお、本手法は、実際に火災が起きた後に地形、林相、風、飛び火の情報から延焼区域を予測したものであり、ここには消火活動は考慮していません。



「延焼可能性区域図の作成」について説明します。

この図は、延焼可能性区域図の作成を模式的に示したものです。消防研究センターの研究成果を引用して作成しました。

火は、①の主延焼方向、②の横延焼方向、③の裏延焼方向に広がると考えて延焼可能性区域を設定します。

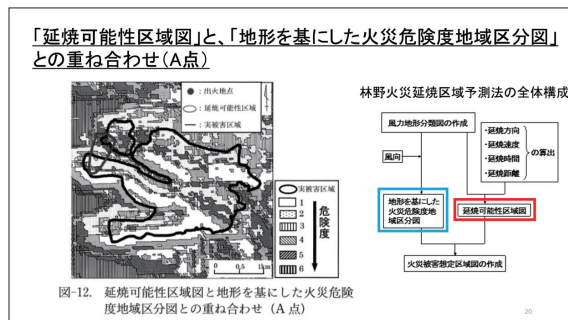


ここからは、出火点A点を例にとり説明します。

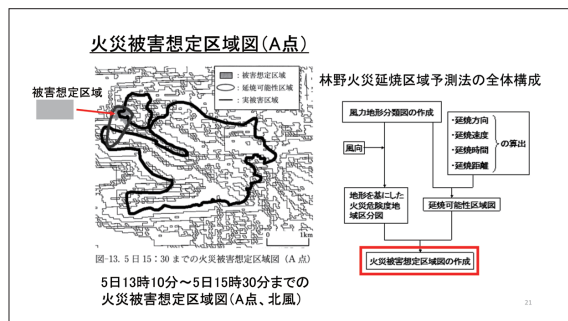
この図は、A点(出火点)における延焼可能性区域図、北風です。

水色の矢印で示す灰色の楔型の所が延焼可能性区域で、黒の線が実被害区域です。

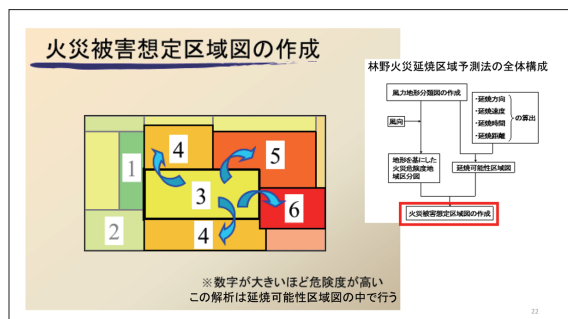
出火時の5日13時10分～5日15時30分までのものです。



この図は、「延焼可能性区域図」と「地形を基にした火災危険度地域区分図」との重ね合わせA点です。



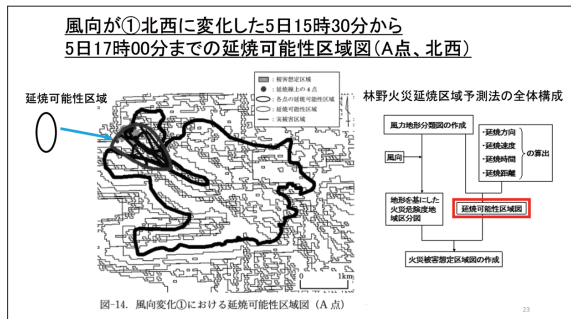
この図は、火災被害想定区域図A点です。赤の矢印で示す網掛けした部分が火災被害想定区域です。5日13時10分～5日15時30分までのものです。



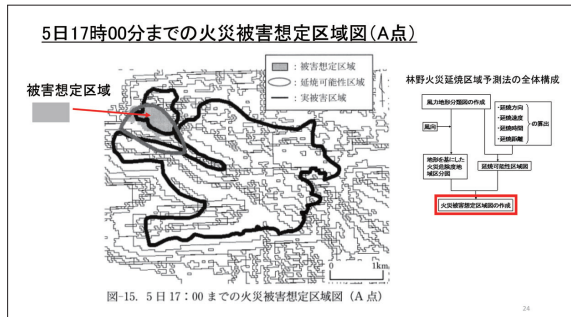
ここで、火災被害想定区域図の作成方法について説明します。

この図で、数字が大きい程危険度が高い区域とします。例えば黄色の危険度3の区域が燃えているとしま

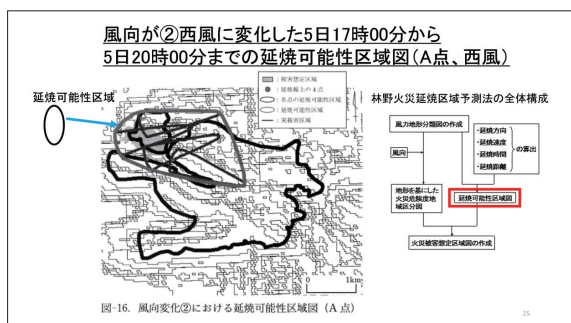
す。火災は黄色の区域を燃やした後に、その区域に接して、かつその区域よりも危険度の高い区域に延焼し、危険度の低い区域には延焼しないとしました。この解析は延焼可能性区域図の中で行います。



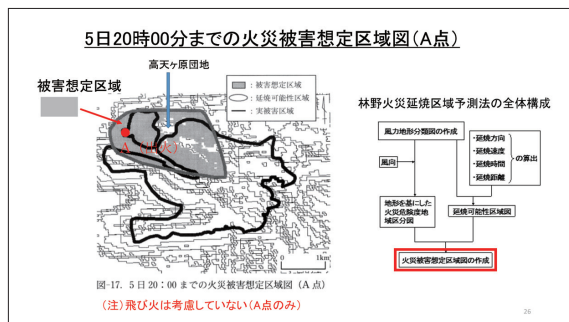
この図は、風向が北西に変化した5日15時30分から5日17時までの延焼可能性区域図A点のものです。



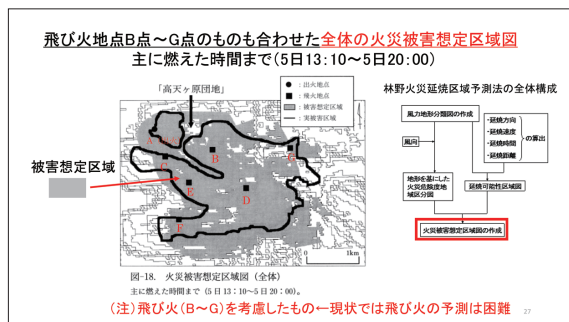
この図は、5日17時までの火災被害想定区域図A点です。



この図は、風向が②西風に変化した5日17時から5日20時までの延焼可能性区域図 (A点、西風) です。

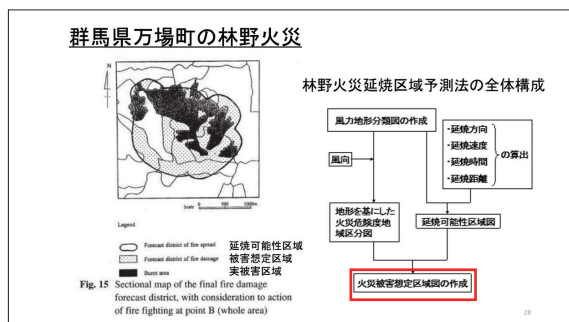


この図は、A点の5日20時までの「火災被害想定区域」です。ただし飛び火は考慮していません。

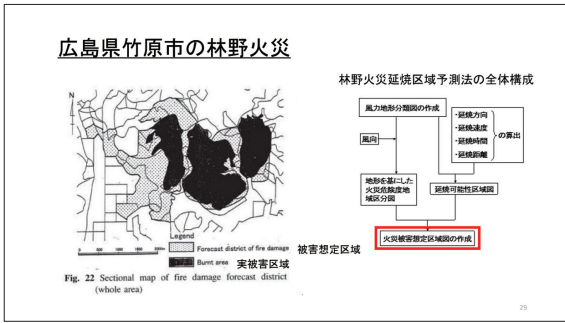


それに対して、この図は、飛び火地点B点~G点のものも合わせた全体の火災被害想定区域図です。飛び火が考慮されれば結構うまく推定している事が分かります。

しかし、残念ながら、現状では飛び火の予測は困難であり、今後の課題です。



この図は、群馬県万場町の林野火災です。黒い所が実被害区域で、点々の所が被害想定区域です。ほぼ想定していることが分かります。



この図は、竹原市の林野火災です。こちらもほぼ想定していることがわかります。

各務原、万場、竹原の3つの事例から、この推定法はそれなりに評価できるのではないかと考えます。しかし、飛び火の予測が課題として残っています。

3、広島原爆の被害分布図作成

- 原爆の被害分布にも地形の影響が明確に表れている。
- 平成14年に国土地理院は米軍撮影の広島原爆の直前・直後の航空写真を公開・市販

(1) 広島原爆投下直前数値地図作成(広島市街地全域)

家を一軒一軒詳細に描いた地図がない
詳細な被害分布図が描けない
調査や研究に障害があることが判明

(2) 広島原爆投下直後の被害分布図作成(広島市街地全域)

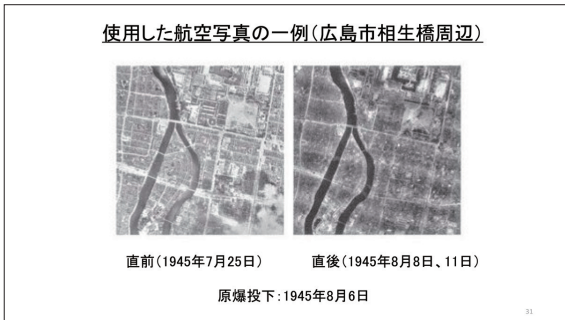
測量技術者が作るしかない。私が作ろうと決意

次は、広島原爆の被害分布図作成です。
原爆は人的災害の際たるものですが、原爆の被害分布にも地形の影響が明確に表れています。

平成14年(2002年)に国土地理院は、米軍撮影の広島原爆投下直前・直後の航空写真を公開・市販しました。

原爆についていろいろ調べていくうちに、原爆に関する資料は膨大にあるにもかかわらず、家を一軒一軒詳細に描いた地図がないために、詳細な被害分布図が描けないなど、調査や研究に障害があることがわかりました。

これは測量技術者が作るしかない、私が作ろうと決意しました。



これは、使用した航空写真の一例です。左が投下直前、右が投下直後です。原爆投下は1945年8月6日です。投下の12日前と2日後に撮影されています。

購入した航空写真の状況

使用カメラ	K-18
撮影	米軍
撮影年月日	1945年7月25日
画面焦点距離	24インチ
撮影高度	28000フィート
写真スケール	1:14000

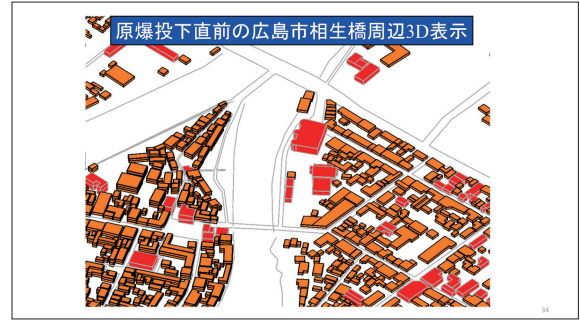
カメラの仕様が通常の測量用カメラとは異なる

購入時には1枚の写真が2枚に切断

購入した航空写真の状況ですが、カメラの仕様が通常の測量用カメラと異なり、購入時には、1枚の写真が2枚に切断されており、図化には色々工夫しました。



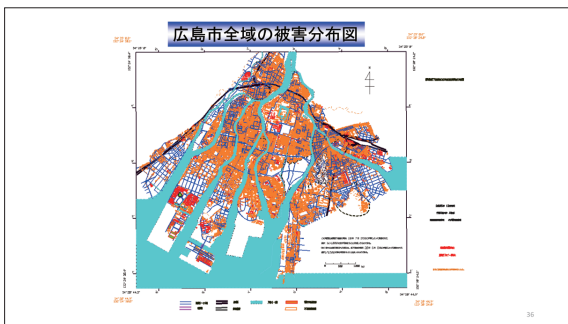
これは、図化した投下直前の広島市相生橋周辺の数値地図です。オレンジ色が木造家屋、赤の塗りつぶしが堅牢建造物です。



これは、3次元表示です。



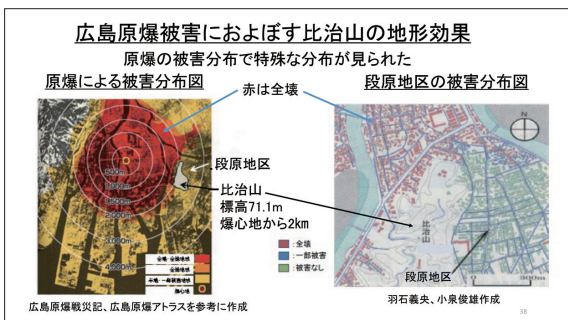
これは、相生橋周辺の被害分布図です。全壊は赤、半壊は桃色、一部被害は青、被害なしは緑色、判読不能（空中写真のない場所）は黄色です。



これは、広島市全域の被害分布図です。



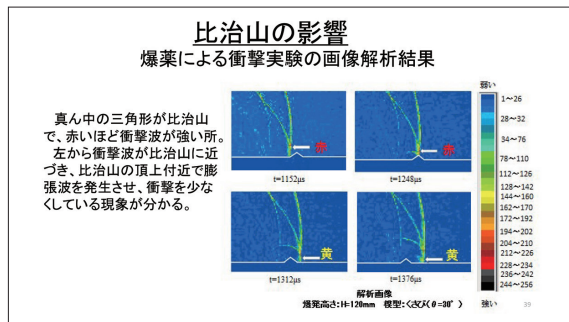
これは、GISを用いた広島原爆の構造物被害に関する資料の構築です。地図上で被害箇所をクリックすると、その写真や属性データなどが表示されるように作成しました。



次は、広島原爆におよぼす比治山の地形効果です。原爆の被害分布で特殊な分布が見られました。左の図は広島県が作成した原爆による被害分布図です。赤が全壊です。ここに、爆心地から2kmほど離れて、高さ70mほどの比治山という小さな山がありますが、この裏手の段原地区という集落が赤く塗られています。

右の図は私共が作成した、段原地区の被害分布図です。赤が全壊、青が一部被害、緑が被害なしです。これを見ると、段原地区のみが生き残っていることが分かります。広島でも不思議な現象として捉えられています。

私は明らかに地形の影響だろうと考え研究に取り掛かりました、東北大学流体科学研究所の協力も得ることができ、爆薬を用いた衝撃波を、シュリーレンという方法で解析しました。



これは、爆薬による衝撃実験の画像解析結果です。真ん中の三角形が比治山で、赤いほど衝撃波が強い所です。左から衝撃波が比治山に近づき、比治山の頂上付近で膨張波を発生させ、衝撃を少なくしている現象が分かります。

4. 既存航空写真、旧版地形図等を利用した地震による家屋被害と地盤形成履歴との関係分析
—千葉県東京湾岸地域の例—

要約:
東日本大震災における千葉県東京湾岸地域の住宅被害の度合いは地域的に差がある。この差の要因は、主に地盤形成の歴史によって、それは昔の航空写真などにより明らかにでき、これをもって今後の地震による危険箇所発見の資料とすることが可能である。

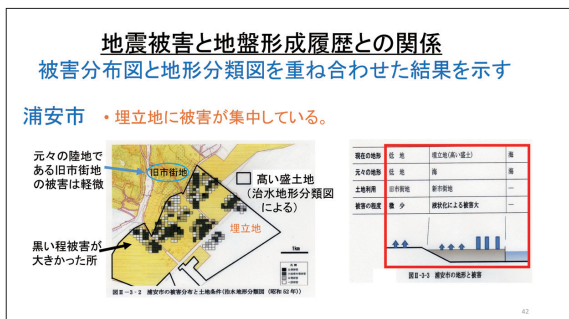
最後に、風とは離れますが、東日本大震災に関連し、既存航空写真、旧版地形図等を利用した、地震による家屋被害と地盤形成履歴との関係分析を行いました

のでお話しさせていただきます。

要約ですが、東日本大震災における千葉県東京湾岸地域の住宅被害の度合いは地域的に差がありました。この差の要因は、主に地盤形成の歴史によります。それは昔の航空写真などにより明らかにでき、これをもって今後の地震による危険箇所発見の資料とすることが可能であります。

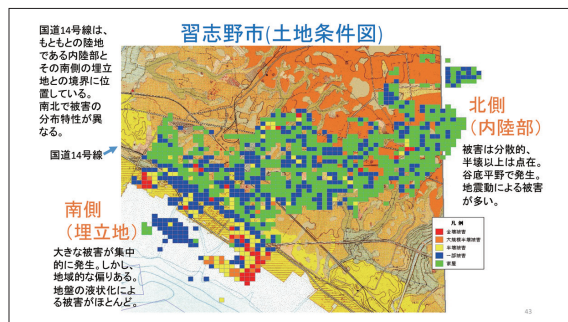


地震被害の分布特性、千葉県北部での分布です。千葉県北部で被害の多かった地区は、東京湾岸地域では浦安市、船橋市、習志野市などです。利根川沿川では、香取市などです。全般に液状化による被害が多かったです。



地震被害と地盤形成履歴との関係を探るために、被害分布図と地形分類図を重ね合わせた結果を示します。

まず、浦安市です。黒い程被害が大きかった所です。元々の陸地である旧市街地は被害が軽微ですが、新市街地である埋立地に被害が集中しています。地形分類図では、「高い盛土地」と表示されています。

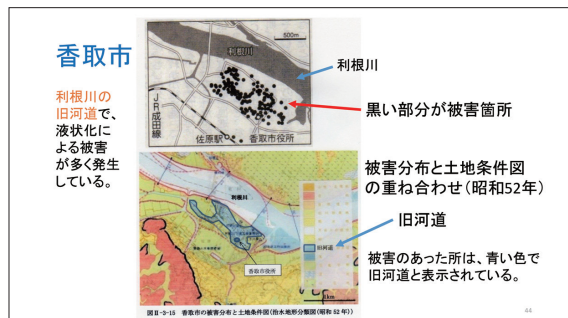


これは、習志野市です。赤が全壊、オレンジが大規模半壊、黄色が半壊、青が一部被害です。

図面左に国道14号線と書いてありますが、国道14号線は、もともとの陸地である内陸部と、その南側の埋め立て地との境に位置しています。南北で被害の分布特性が異なります。

内陸部では被害は分散的で、半壊以上は点在です。谷底平野で発生し、地震動による被害が多いです。

これに対して、埋め立て地では、大きな被害が集中的に発生しています。しかし地域的な偏りがあります。地盤の液状化による被害がほとんどです。



これは、利根川沿いにある香取市です。

上の図の黒い部分が被害箇所です。

利根川の旧河道で液状化による被害が多く発生しています。

下の図は、被害分布と土地条件図を重ね合わせたものです。被害のあった所は、青色で旧河道と表示されています。

昔の航空写真で見る危険箇所
内陸部

1) 谷底平野と台地

判読の目安

- 危険度の高い谷底平野は、水田で黒っぽく写っている。
- 地盤の比較的安定している台地は畑地や住宅地が多く、白っぽく写っている。



1963 (昭和38) 年航空写真

次は、昔の航空写真で見る危険箇所です。

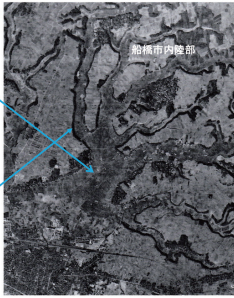
これは昭和38年の航空写真で、習志野市内陸部の谷底平野と台地です。

判読の目安ですが、危険度の高い谷底平野は水田で黒っぽく写っています。地盤の比較的安定している台地は畑地や住宅が多く、白っぽく写っています。

2) 氾濫平野、崖・斜面

判読の目安

- 氾濫平野は、過去の洪水によって作られた広い平坦な低地で、地震被害の危険性が高い。昔は水田として利用されていたところが多く、比較的広い水路や、場合によっては池などの水溜まりが見られる。写真の色調は全般に黒っぽい。
- 崖・斜面は谷底平野と台地の境にあり、樹林地が多い。



1947 (昭和22) 年航空写真

これは、昭和22年の航空写真で、船橋市内陸部の氾濫平野、崖・斜面です。

氾濫平野は、過去の洪水によって作られた広い平坦な低地で、地震被害の危険性が高いです。昔は、水田として利用されていたところが多く、比較的広い水路や、場合によっては池などの水溜まりが見られます。

写真の色調は全般に黒っぽいです。

崖・斜面は谷底平野と台地の境にあり、樹林地が多いです。

3) 旧河道

香取市



昭和21年航空写真
判読の目安
■旧河道は現河川に並行している。
液状化被害が多かった所は、この写真では水田または、工事中であり、白っぽく見え、一部水溜まりがある。
利根川
市街化が進み、ここが旧河道であったことは分らない状況。
平成7年航空写真

これは、旧河道です。

上の写真は昭和21年の航空写真です。旧河道は現河川に並行しています。液状化被害が多かった所は白い破線で示した所ですが、この写真では水田または工事中であり、白っぽく見え、一部水溜まりもあります。

下の写真は同じ地区の平成7年の航空写真です。市街化が進み、ここが旧河道であったことは分からない状況です。

海域の埋立地

1) 浦安市の埋め立ての歴史を示す航空写真

新旧の航空写真を比べると、土地の変化が明瞭に分かる。これにより浦安市の市域の75%までが埋め立て地である事が分かる。



平成15年

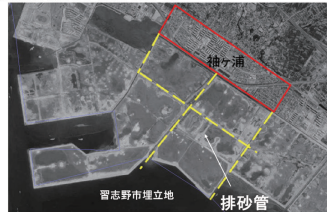
図II-4-5 浦安市の埋め立ての歴史を示す航空写真(浦安市資料)

次は、海域の埋め立て地です。これは浦安市の埋め立ての歴史を示す航空写真です。新旧の航空写真を比べると、土地の変化が明瞭に分かります。これにより、浦安市の75%までが埋め立て地である事が分かります。

2) 埋め立て中の航空写真(習志野市)

判読の目安

- 埋め立てのための排砂管の位置とその下の砂の堆積している所が白く写り、明確に分かる。液状化の被害はこの場所でも多く発生し、これらの地区が液状化の危険性が高いことを示している。この状況は先の浦安市の写真でも分かる。

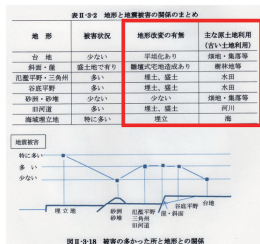


1977 (昭和52) 年航空写真

これは、習志野市の埋め立て中の航空写真です。埋め立てのための排砂管の位置とその下の砂の堆積している所が白く写り、明確に分かります。液状化の被害はこの場所でも多く発生し、これらの地区が液状化の危険性が高いことを示しています。この状況は先の浦安市の写真でも分かります。

地形と地震被害のまとめ

一部例外はあるものの、被害が大きかった所は、元々の土地利用は、水田または水域である。これらは宅地化するために人工的に改変されたものである。



地形と地震被害のまとめです。一部例外はあるものの、被害が大きかった所は、もともとの土地利用は水田または水域であり、これらは宅地化のために人工的に改変されたものです。

終わりに

今回、私の研究の一端を紹介しながら測量と防災について述べさせていただきました。測量は防災の面においても、その情報を得るという最上流にあるばかりでなく、そのデータを基に多くの分野に応用できる素晴らしい技術です。測技協はこれらの知識と技術を活かして、更に多くの分野に進出して頂きたいと思っております。

今回、私の研究の一端を紹介させて頂きながら、測量と防災について述べさせていただきました。測量は防災の面においても、その情報を得るという、

最上流にあるばかりでなく、そのデータを基に多くの分野に応用できる素晴らしい技術です。

測技協はこれらの知識と技術を活かして、更に多くの分野に進出して頂きたいと思っております。

ご清聴ありがとうございました

ご清聴ありがとうございました。



講演者
小泉 俊雄 (こいずみ としお)
千葉工業大学 名誉教授

本稿は2023年11月29日に開催された、当協会主催「社会・技術動向講演会 2023 in 東京」における、小泉俊雄 氏の特別講演の内容をまとめたものです。