



丸の内・銀座地区における都市脆弱性の変遷と Google Earth を用いた都市復興デジタルアーカイブズの構築

五十嵐政泰¹⁾、村尾修²⁾

1)前筑波大学大学院システム情報工学研究科、修士（社会工学）
2)正会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科、准教授 博士（工学）
e-mail :murao@risk.tsukuba.ac.jp

要 約

本研究では、異なる時代ごとの都市の脆弱性（建物倒壊危険性と延焼火災危険性）を定量的に評価する重回帰モデルを構築し、古地図等を用いることにより東京の丸の内地区と銀座地区の脆弱性の変遷を明らかにした。また両地区における20世紀の復興の経過を脆弱性の変遷を通して理解することを試みた。そして紙媒体から得られたこれらの情報をGoogle Earthをプラットフォームとしたデジタル媒体に変換し、復興デジタルアーカイブズとして再構築した。

キーワード：都市復興アーカイブズ, Google Earth, 丸の内, 銀座, 都市空間, 都市リスク

1. 研究の背景と目的

本研究は主にふたつの主題と関連し、構成されている。以下に主題ごとの背景と目的、およびその関連性について示す。

1.1 時系的な都市の脆弱性の評価

都市の様相を変える大きな要因として、政治的要因や経済的要因の他に大災害などの歴史的な事象が挙げられる。たとえば、日本の首都である東京をはじめとして、シカゴ、サンフランシスコ、ロンドンなどの世界的な大都市は、被災という歴史的な事象の影響を大きく受け、その都市空間を大きく変化させてきた。また、そのような都市空間の変化は、災害に対する都市の脆弱性をも変化させる。それは、被災と復興という過程により都市空間が再構築され、社会基盤施設が新たに整備されるとともに、関連法規が改正されることもあり、被災した災害に対する耐性も向上するからである。すなわち、歴史的な事象、都市空間、そして都市の脆弱性の3要素は、互いに密接な関係があると言え、これらの関係を理解し、把握することは、都市の防災と復興を考える上で重要な知見を与えるであろう。そのためには、ある地域における都市の脆弱性を時系的に評価する方法が必要である。

都市の災害脆弱性を評価する方法として、多くの自治体が実施している被害想定や、東京都が実施している地域危険度測定調査等が挙げられる。これらの調査の結果、ある時点における固有の被害量や危険性は得られるが、これらに用いられている評価方法は時代とともに改良されるため、各時点での数値を長期的かつ時系的な都市リスクの評価指標として用いるには問題がある。また、都市空間情報の基盤

整備が進んでいる現代とは異なり、数十年も前の都市の状況を把握するためには、古地図等のアーカイブズを用いなくてはならないが、それらに記載されている情報は地図の目的に応じてそれぞれ異なっており、同地域であっても異なる時代の都市リスクを同じ視点で定量的に比較するのは難しい。

本研究ではこれらの問題を解決するために、都市の脆弱性を経年的に評価・理解するための方法論を構築することを目的のひとつとする。そのために、東京の丸の内と銀座の2地区を対象とし、1930年代から現代までの異なる時代に作成された古地図等のアーカイブズから、都市の脆弱性を評価する方法を提案し、戦災と復興という歴史的事象の中で脆弱性がどのように変化してきたかを考察する。

1.2 デジタル都市空間を用いた都市リスクの表示

近年のインターネットの普及に伴い、デジタルアース構想²¹⁾の概念も生まれ、毎年Where2.0²²⁾などの場で位置情報技術の新しい利用法などが活発に議論されている。そして、空間情報技術の発展に伴い、地震など都市災害によるリスクの評価結果を従来の紙媒体から、デジタル化して一般住民に還元する方法が用いられるようになってきている。脆弱性の評価結果をデジタル化することにより、データの劣化を防ぎ、より効果的に一般住民にリスク情報を還元することが出来るからである。たとえば東京都は、地域危険度調査の結果をデジタル化し、調査結果をWeb上で公開している¹⁾。また、目黒らは²⁾、地域危険度調査の結果をWeb版三次元デジタル地図ビューアであるUrban Viewer for Webを用いて視覚的に表現する試みを行っている。

現在、デジタル化された知的財産をより効果的に一般住民へ還元する方法論が議論されているが、これらの試みはその一環であると言える。空間情報を共有するツールの中でも、世界規模の汎用性と簡易な操作性を特徴としたGoogle EarthはWhere2.0の概念を実現しうる次世代空間情報技術として発達してきた。Google Earthを用いた関連研究として、例えば齊藤ら³⁾は、Google Earth上で個々に作成された対象地域や時間的な変化をシームレスに繋ぎ、簡易に操作ができる共通プラットフォームとしての応用可能性とその特徴を検討している。また、笹木・村尾⁴⁾はGoogle Earthを用いた都市復興アーカイブ構築の方法論を提案し、体系化された枠組みの中で空間情報をデジタルアーカイブズとして記録していく研究を行っている。本研究はその延長線上に位置づけられる。

本研究では、都市の脆弱性の評価と経年的変遷をGoogle Earth上に表現し、リスク・コミュニケーションの媒体として示すことを第二の目的とする。そのために、1.1で述べた2地区における時系的な脆弱性評価結果をGoogle Earth上で三次元的に表現し、歴史的事象と関連づけている。これは防災意識啓発のための次世代アプローチの提示につながるもので、都市防災・復興分野の発展の一助になると考えられる。

二つの主題により構成される本研究は、古地図という紙媒体を、都市の脆弱性評価という観点から読み解き、歴史的事象とともに仮想三次元空間上のデジタルアーカイブズへと再構築する試みである。

2. 対象地区と研究の方法

2.1 対象地区

対象地区としては、都心の一部である千代田区丸の内（1丁目から3丁目）と中央区銀座（1丁目から8丁目）を選定した。その理由として、戦後日本を代表する近代化した都市空間を持つこと、明治維新後に発展し、震災・戦災と復興を経験している場であることなど、その歴史的特異性があげられる。

2.2 研究の方法

研究の構成を図1に示す。①都市空間情報の入手とデジタル化、②都市脆弱性の変遷の分析、③歴史的事象の理解は、1.1で示した3要素（歴史的事象、都市空間、都市の脆弱性）と対応している。一連の作業の後、Google Earthをプラットフォームとした④都市復興デジタルアーカイブズの構築を行う。研究方法の詳細は以下の通りである。

①都市空間情報の入手とデジタル化

当該地区の各時点における都市空間を再現し、その変化を把握するために、古地図等の文献資料を用いる。入手した地図の時点は、丸の内地区が1919年以降の7時点、銀座地区は1935年以降の6時点である。これら紙媒体としての資料を複写し、スキャニングし、そして地理情報システムで処理できるようPC上

でデジタル化し、三次元空間としてGoogle Earth上に再現する。

②都市脆弱性の変遷の分析

本研究では都市の脆弱性を評価するために、東京都の地域危険度測定調査⁵⁾の主要な指標である「建物倒壊危険性」と「延焼火災危険性」に焦点をあてている。各時代におけるこれらの都市リスクを評価するために、②で述べた文献資料とは別に後に示す8時点（1935年から2005年まで）のデータを収集し、まずは市街地状況の変化に基づく基礎的な分析を行い、対象地区全体の傾向を把握する。次にこれらの基礎データに基づき、「建物倒壊危険性」と「延焼火災危険性」を評価するための推定モデルを考案し、対象地区内の町丁目ごとの危険量を算出する。両危険量を市街地状況から推定するモデルを構築することにより、適切なデータが整備されていなかった過去の危険量も定量化することが可能となる。そして、それらの変遷について歴史的事象と関連づけ、考察する。

③歴史的事象の理解

既成の事実として歴史的事象が存在している。対象地区を含む東京は、明治・大正・昭和・平成と時代を経る中で、銀座大火（1872年）、関東地震（1923年）、東京大空襲（1945年）、戦後の高度経済成長（1955-73年）、バブル経済（1980年代後半から1990年代前半）などを経験し、現在に至っている。主な歴史的事象を前後に挟む時点でのデータを用いて都市空間を再現することにより、歴史的事象と都市空間の変化の関係を考察することを目指す。

④都市復興デジタルアーカイブズの構築

最後に③で得られた都市脆弱性の変遷に関する情報を、②で作成したGoogle Earth上の仮想都市空間に付加する。ここでは、Google Earthの機能を用いて都市の物的空間の変化と脆弱性の変化を視覚的に把握できるようにする。そして、歴史的事象に伴う考察を加え、対象地区における都市復興デジタルアーカイブズとしてまとめる。

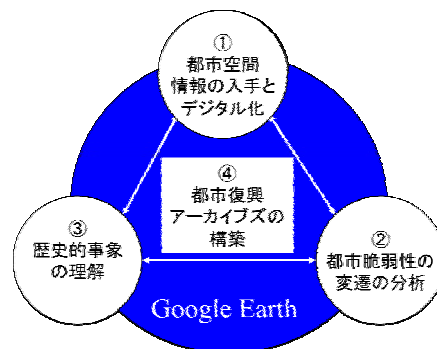


図1 研究の構成

3. 対象地区における仮想都市空間

3.1 使用データ

Google Earth上に対象地区の3次元空間を再現するにあたり、関東地震（1923年）、東京大空襲（1945年）、戦後の高度経済成長（1955-73年）、バブル経済（1980年代後半から1990年代前半）による都市空間の変化が見られるよう表1に示す文献資料（地図）を用いた。それぞれの地図には、区画・道路・鉄道・空地・河川（堀）等の土地利用、耐火・防火造・木造等の建物構造（火災保険特殊地図）、そして建物階数（火災保険特殊地図、ゼンリン住宅地図、市街地状況調査報告書も一部利用）などの情報が含まれている。

表1 空間情報を取得するために使用した資料一覧と使用データ

No	地図名称	年次	建物			土地利用				
			名称	構造	高さ(階数)	区画	道路	鉄道	空地	河川(堀)
1	1:10000 地形図	1919(丸の内地区)	×	×	×	○	○	○	○	○
2	火災保険特殊地図 戦前	1935	○	耐火造 防火造	○	○	○	○	○	○

				木造 耐火造 防火造 木造						
3	火災保険特殊地図 戦後	1955(丸の内地区) 1958(銀座地区)	○		○	○	○	○	○	○
4	ゼンリン住宅地図1976	1976	○	×	○	○	○	○	○	○
5	ゼンリン住宅地図1986	1986	○	×	○	○	○	○	○	○
6	ゼンリン住宅地図1993	1993	○	×	○	○	○	○	○	○
7	ゼンリン住宅地図2000	2000	○	×	○	○	○	○	○	○
8	東京都の市街地状況調査報告書	各年代(表2参照)	建物階数算出のため補足的に利用							

3.2 土地利用レイヤの作成

こうして収集した地図データをPC上でベクトルデータとしてデジタル化し、それをもとにArc Mapを用いて各年次における土地利用レイヤを作成した。作成した土地利用レイヤは、建物、道路、鉄道、空地、そして河川(堀)の5つである。また建物レイヤを作成するにあたり、構造別に分類するとともに、ゼンリン地図に表示されておらず、把握できない建物階数については、次章で示す東京都の市街地状況調査報告書の平均階数データも参考にして階数情報を与えた。そして、情報のない1919年時点での建物高さについては、火災保険特殊地図戦前(1935年)と比較し、建物輪郭が同じであれば1935年データの階数と同等とし、また変化している建物については周辺環境と時代背景を考慮し、2階建として算出した。

3.3 Google Earth上での都市空間の再現

次に、作成した土地利用レイヤをGoogle Earth上にインポートし、そのファイルをKMLファイル形式で書き出した後、ファイルをテキストエディタで開き、KMLリファレンス2.1に基づくTime Spanタグ⁶⁾の埋め込みを行った⁴⁾。こうして、作成した時点ごとの土地利用レイヤをGoogle Earth上で時系的に表示させるようにした。そして、建物レイヤに関しては、階数情報に3mを乗じることで、3次元化を行った。こうして作成された仮想都市空間の例を図2に示す。

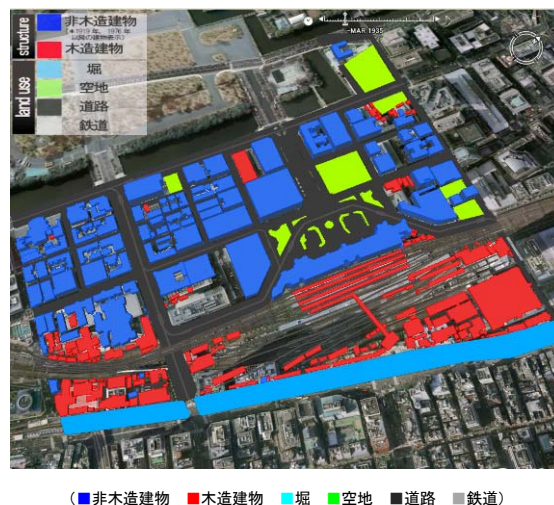


図2 Google Earth上の仮想都市空間の例(丸の内地区, 1935年)

4. 都市の脆弱性評価の手法

2.2では研究全体の的方法論を示したが、ここでは②都市脆弱性の変遷の分析を行うための方法について、詳細に示す。

4.1 使用データ

都市の脆弱性を評価する代表的なものとして、東京都の地域危険度測定調査があるが、1.1に示したように時系的な変化を考察するうえで、「時代ごとの同質なデータを取得するのが困難である」や「時代を経るごとに評価手法が異なる」などの問題がともなう。ここでは前者の問題を解消するために、継続

的に共通した建物関連情報（構造，棟数等）を提供している東京都の市街地状況調査報告書を用いた。ただし，同報告書が公表されるようになる以前の時代については，火災保険特殊地図からデータを取得している。そして後者の問題を解消するために，これらの継続的なデータを用いた基礎的な都市脆弱性の評価分析を行うとともに，最新の地域危険度測定調査⁵⁾に基づく重回帰モデルを提案し，そこで得られた2種類の危険量から脆弱性の評価を行うこととした。使用したデータソースを表2に示す。

次節で述べる各時代の「建物棟数」および各種「建ぺい率」の算出にあたっては，これら8種類の資料の建物構造データを用いた。また「不燃領域率」等の計算に必要な1981年以降の空地面積と道路面積の算出に関して，「市街地状況調査報告書」のデータを使用することができたが，それ以前のもはデータがなかったため，前章で構築した空間情報を用いて算出した。

表2 都市の脆弱性評価に用いたデータソース

No	地震リスク評価に用いた資料	年次	建物構造分類	空地面積	道路面積
1	火災保険特殊地図 戦前	1935	耐火，防火，木	×	×
2	火災保険特殊地図 戦後	1955（丸の内地区） 1958（銀座地区）	耐火，防火，木	×	×
3	東京都の市街地状況調査報告書（特別区）	1981	耐火，防火，木	○	○
4	東京都の市街地状況調査報告書（特別区第3回）	1986	耐火，防火，木	○	○
5	東京都の市街地状況調査報告書（特別区第4回）	1990	耐火，防火，木	○	○
6	東京都の市街地状況調査報告書（第5回）	1995	耐火，防火，木	○	○
7	東京都の市街地状況調査報告書（第6回）	2000	耐火，準耐火，防火，木	○	○
8	東京都の市街地状況調査報告書（第7回）	2005	耐火，準耐火，防火，木	○	○

4.2 市街地状況変化に基づく基礎的分析の指標

対象地区の変化を把握するための指標のひとつとして，町丁目単位での構造別建物棟数（密度），木造建ぺい率，不燃領域率の3つの指標を用いる。以下にその概要を示す。

①構造別建物棟数（密度）

各建物データの構造を，非木造建物（耐火造・準耐火造）と木造（防火造・裸木造）に分類した。兵庫県南部地震により被害を受けた灘区の木造全壊率（52.4%）は鉄筋コンクリート造（9.3%）の約6倍であり⁷⁾，ある市街地において木造建物棟数の経年的な減少は，市街地の建物倒壊，延焼火災の危険性を減少させる要因となる。また建物棟数密度が数十棟/haを数えるような密集市街地では，そうでない市街地と比較して地震時の建物倒壊危険性，延焼火災危険性は高くなる。

②木造建ぺい率

木造建ぺい率は，木造建物と防火造建物の建築面積の和を，市街地面積から震災時通行可能道路面積と空地面積を引いた面積で除して百分率で表したものである。既往研究によると⁸⁾，木造建ぺい率に相当する「木防建ぺい率」と地区内で出火した場合の焼失率には密接な関係があり，その値が20%以下であれば市街地の焼失率危険性はほとんどないが，20%から30%を境にして焼失危険性は急激に上昇する。

③不燃領域率

耐火造建物および空地，道路など地区内における不燃領域の割合を示すもので，以下の式(1)により表される。

$$FPR = (OR + RR) + (100 - OR - RR) \times \frac{FPBAR}{BAR} \quad (1)$$

FPR ：不燃領域率， OR ：空地率， RR ：道路率， $FPBAR$ ：耐火造建ぺい率， BAR ：全建物建ぺい率

地震火災が発生した場合，不燃領域率が30%程度以下の市街地では，その市街地の焼失率は80%を超え，危険性は非常に高くなる。不燃領域率が40%以上の水準に達すると焼失率は20%から25%程度にまで低下し，70%を超えると焼失率はほぼゼロとなり延焼の危険性はほぼなくなる⁹⁾。

4.3 建物倒壊危険量と火災危険量評価のための重回帰モデル

町丁目ごとの脆弱性を評価するために、東京都地域危険度測定調査（第6回）⁹⁾に基づき、建物倒壊危険性の指標である「建物倒壊危険量」と延焼火災危険性の指標である「火災危険量」を算出した。

「建物倒壊危険量」とは、工学基盤に最大速度30cm/s (kine) の一定の地震動を与え、町丁目ごとの地盤増幅度を乗じ、その際に生じる全壊建物棟数を、地域の有効面積で除して算出される指標である。また「火災危険量」とは、町丁目内建物の延焼危険性（全焼棟数）の合計値を出火点数で除した平均値にその町丁目の出火の危険性（出火点数期待値）を乗じて、被害量として密度化したものである。

これらの危険量を算出するためには町丁目ごとの詳細な建物属性データが必要であるが、表2にあげた資料からは十分なデータが得られない。そこで、被説明変数に第6回地域危険度測定調査における「建物倒壊危険量」および「火災危険量」の対数を取り、説明変数に東京都の市街地状況調査報告書（第7回）¹⁰⁾の市街地状況指標をとることにより、各危険量の推定重回帰モデルを構築した。ここで危険量の対数をとった理由は、その算定過程で建物被害関数等が用いられており、その被害発生確率は対数正規分布で表されていると仮定されているためである。市街地状況から危険量を推定する重回帰モデルにより、過去のある時点における同じ指標を代入すれば、その時点の両危険量を推定することができる。具体的に用いた市街地状況指標を表3に示す。この中の地表面速度は、東京都地域危険度測定調査の中で報告されている「町丁目ごとの地盤状況」を考慮して算出された値を用いている。対象地域の両危険量を算出する際には、地盤状況は過去から現在まで変化がなかったと仮定し、現在の地表面速度と同じ値を一貫して代入することとした。

表3 危険量推定重回帰モデルの説明変数（市街地状況指標）

No.	市街地状況指標	No.	市街地状況指標
1	構造別建物棟数	9	構造別建物混成率
2	全建物棟数	10	市街地面積
3	構造別建物棟数密度	11	空地面積
4	全建物棟数密度	12	空地率
5	構造別建築面積	13	道路面積
6	建築面積	14	道路率
7	構造別建ぺい率	15	地表面速度
8	建ぺい率		

まずモデル構築のためのデータベースを作成した。都内の町丁目のうち各危険量が0であるところを削除した結果、建物倒壊危険量のモデル対象データは3,113、火災危険量データは2,968となった。これらのデータを用いて、変数増減法により重回帰モデルの構築を行った。各危険量の予測モデル式を(1)および(2)に示す。

$$\text{Log}Y = \alpha + \sum_{i=1}^6 \beta_i x_i \quad (1)$$

Y: 建物倒壊危険量 α : 定数項 β_i : 係数 x_1 : 空地面積 x_2 : 全建物棟数密度 x_3 : 地表面速度
 x_4 : 非木造建物棟数 x_5 : 非木造建築面積 x_6 : 非木造建ぺい率

$$\text{Log}Y = \alpha + \sum_{i=1}^4 \beta_i x_i \quad (2)$$

Y : 火災危険量 α : 定数項 β_i : 係数 x_1 : 木造建物棟数密度 x_2 : 非木造棟数 x_3 : 地表面速度
 x_4 : 道路面積

建物倒壊危険量および火災危険量を推定する重回帰モデルの相関行列を表4、表5に、各パラメータを表6、表7に、また実測値と重回帰モデルによる理論値の比較を図3、図4に示す。建物倒壊危険量推定重回帰モデルに関しては、決定係数が0.788、重相関係数が0.888と比較的高い精度のモデルを構築することができた。建物倒壊危険量とは単位面積あたりの全壊棟数であるため、モデル構築に用いた第6回建物倒壊危険量のデータと回帰モデルの結果を用いて、条件下での東京都全域の建物全壊棟数を導いた。その結果、それぞれ333,387棟（東京都建物倒壊危険量）と327,178棟（重回帰モデル）となり、その差は6,209棟で全建物1,662,369棟の0.37%となった。標準偏回帰係数から全建物棟数密度と地表面速度が大きな影響を与えていることがわかる。一方、火災危険量推定重回帰モデルの決定係数は0.695、重相関係数が0.833となり、建物倒壊危険量よりは落ちるが、まずまずの精度となっている。標準偏回帰係数から、他の説明変数と比較して木造建物棟数密度が大きな影響を与えていることがわかる。

こうして得られた重回帰モデルに各時代の市街地状況データを適用することにより、1935年から2005年までの町丁目ごとの危険量を算定し、その推移を把握することができる。本章で述べてきた「市街地状況変化に基づく基礎的分析の指標」および「重回帰モデルを用いた脆弱性評価」を対象地区に適用し、歴史的な事象と関連づけながら、以降の5章（丸の内地区）と6章（銀座地区）で述べていくことにする。

表4 建物倒壊危険量推定重回帰モデルの相関行列

	空地面積	全建物棟数密度	地表面速度	非木造建物棟数	非木造建築面積	非木造建ぺい率	log建物倒壊危険量
空地面積	1.000						
全建物棟数密度	-0.282	1.000					
地表面速度	0.095	-0.047	1.000				
非木造建物棟数	-0.078	0.391	-0.036	1.000			
非木造建築面積	0.400	-0.300	0.001	0.443	1.000		
非木造建ぺい率	0.140	-0.426	0.145	-0.134	0.386	1.000	
log建物倒壊危険量	-0.339	0.744	0.379	0.345	-0.342	-0.373	1.000

表5 火災危険量推定重回帰モデルの相関行列

	木造建物棟数密度	非木造建物棟数	地表面速度	道路面積	log火災危険量
木造建物棟数密度	1.000				
非木造建物棟数	0.199	1.000			
地表面速度	-0.063	-0.016	1.000		
道路面積	-0.381	0.234	0.159	1.000	
log火災危険量	-0.816	0.300	-0.125	-0.327	1.000

表6 建物倒壊危険量推定重回帰モデルの結果

決定係数		0.788		
重相関係数		0.888		
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	P 値	判定
全建物棟数密度	0.017	0.561	0.00	**
地表面速度	0.012	0.437	0.00	**
空地面積	-3.060E-07	-0.121	0.00	**
非木造建ぺい率	-2.658E-03	-0.082	0.00	**
非木造建物棟数	9.445E-04	0.203	0.00	**
非木造建築面積	-3.901E-06	-0.185	0.00	**
定数項	-0.680		0.00	**

表7 火災危険量推定重回帰モデルの結果

決定係数		0.695		
重相関係数		0.833		
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	P 値	判定
木造建物棟数密度	0.042	0.753	0.00	**
非木造棟数	1.139E-03	0.166	0.00	**
地表面速度	-2.586E-03	-0.064	0.00	**
道路面積	-3.828E-06	-0.069	0.00	**
定数項	-1.215		0.00	**

4.3 建物倒壊危険量と火災危険量評価のための重回帰モデル

町丁目ごとの脆弱性を評価するために、東京都地域危険度測定調査（第6回）⁹⁾に基づき、建物倒壊危険性の指標である「建物倒壊危険量」と延焼火災危険性の指標である「火災危険量」を算出した。

「建物倒壊危険量」とは、工学基盤に最大速度30cm/s (kine) の一定の地震動を与え、町丁目ごとの地盤増幅度を乗じ、その際に生じる全壊建物棟数を、地域の有効面積で除して算出される指標である。また「火災危険量」とは、町丁目内建物の延焼危険性（全焼棟数）の合計値を出火点数で除した平均値にその町丁目の出火の危険性（出火点数期待値）を乗じて、被害量として密度化したものである。

これらの危険量を算出するためには町丁目ごとの詳細な建物属性データが必要であるが、表2にあげた資料からは十分なデータが得られない。そこで、被説明変数に第6回地域危険度測定調査における「建物倒壊危険量」および「火災危険量」の対数を取り、説明変数に東京都の市街地状況調査報告書（第7回）¹⁰⁾の市街地状況指標をとることにより、各危険量の推定重回帰モデルを構築した。ここで危険量の対数をとった理由は、その算定過程で建物被害関数等が用いられており、その被害発生確率は対数正規分布で表されていると仮定されているためである。市街地状況から危険量を推定する重回帰モデルにより、過去のある時点における同じ指標を代入すれば、その時点の両危険量を推定することができる。具体的に用いた市街地状況指標を表3に示す。この中の地表面速度は、東京都地域危険度測定調査の中で報告されている「町丁目ごとの地盤状況」を考慮して算出された値を用いている。対象地域の両危険量を算出する際には、地盤状況は過去から現在まで変化がなかったと仮定し、現在の地表面速度と同じ値を一貫して代入することとした。

表3 危険量推定重回帰モデルの説明変数（市街地状況指標）

No.	市街地状況指標	No.	市街地状況指標
1	構造別建物棟数	9	構造別建物混成率
2	全建物棟数	10	市街地面積
3	構造別建物棟数密度	11	空地面積
4	全建物棟数密度	12	空地率
5	構造別建築面積	13	道路面積
6	建築面積	14	道路率
7	構造別建ぺい率	15	地表面速度
8	建ぺい率		

まずモデル構築のためのデータベースを作成した。都内の町丁目のうち各危険量が0であるところを削除した結果、建物倒壊危険量のモデル対象データは3,113、火災危険量データは2,968となった。これらのデータを用いて、変数増減法により重回帰モデルの構築を行った。各危険量の予測モデル式を(1)および(2)に示す。

$$\text{Log}Y = \alpha + \sum_{i=1}^6 \beta_i x_i \quad (1)$$

Y: 建物倒壊危険量 α : 定数項 β_i : 係数 x_1 : 空地面積 x_2 : 全建物棟数密度 x_3 : 地表面速度
 x_4 : 非木造建物棟数 x_5 : 非木造建築面積 x_6 : 非木造建ぺい率

$$\text{Log}Y = \alpha + \sum_{i=1}^4 \beta_i x_i \quad (2)$$

地区の地震時の延焼火災の危険性は、約70年以上前から非常に小さかったと言える。

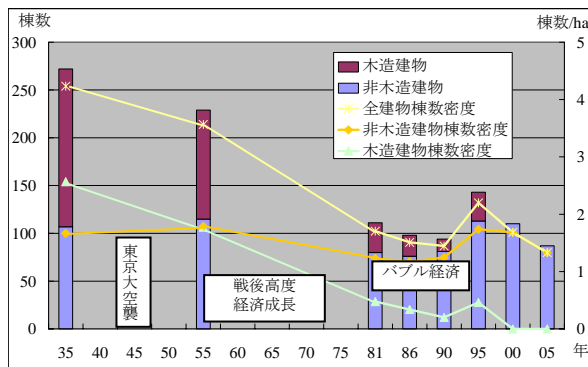


図5 構造別建物棟数(密度)の推移(丸の内)

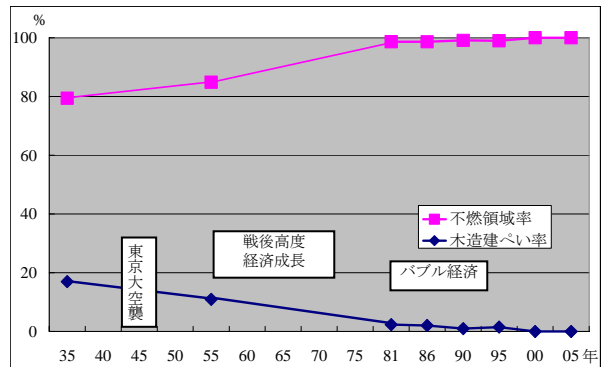


図6 不燃領域率と木造建ぺい率の推移(丸の内)

5.3 危険量変化による分析(町丁目別)

(1) 建物倒壊危険量の変遷(図7)

次に町丁目ごとの建物倒壊危険量の変遷を示す。1935年時点で建物倒壊危険量がどの町丁目も1前後であり、建物倒壊の危険性は非常に低かったと言える。これは、当時から非木造建物が丸の内地区の多くを占め、建物棟数密度も非常に小さかったからであると考えられる。それ以降の変化をみると、高度経済成長を経てどの町丁目も1981年までに大きく減少している。1丁目は、1935年から1981年までほぼ同じ傾きで減少し、1990年で大きく減少するが、総じて1981年以降はほぼ横ばいであると言える。2丁目は1935年時点で1丁目より少し低い値を示しており、1955年までゆるやかに減少するが、1981年以降は増減を繰り返している。他の2町丁目と比較し、この70年間での変化はあまりないと言える。3丁目は、1935年から東京大空襲を挟んだ1955年で一度増加しているが、1981年には半減し、1995年まで0.1程度増加したものの、それ以降は減少している。

(2) 火災危険量の変遷(図8)

1935年時点での火災危険量も全体として非常に小さく、現時点での地域危険度に適用するとランク1程度の地区に相当する^{注3)}。1丁目、2丁目は、1935年以降ほぼ横ばいとなっており、東京大空襲、高度経済成長、バブル期の影響はほとんど受けていないようである。3丁目は、建物倒壊危険量同様、高度経済成長期に火災危険量の減少割合が大きく、その後は横ばいとなっている。

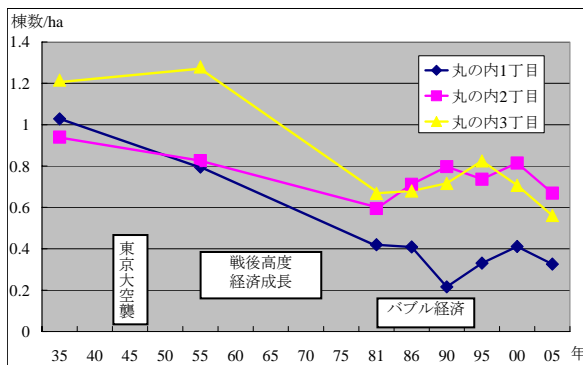


図7 丸の内地区の町丁目別建物倒壊危険量の推移

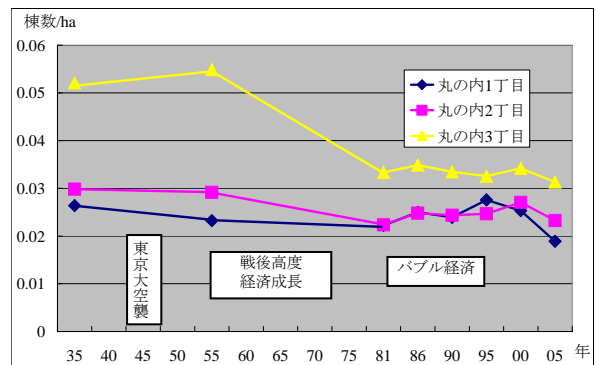


図8 丸の内地区の町丁目別火災危険量の推移

6. 銀座地区における都市と脆弱性の変遷

6.1 歴史的事象と地区形成の変遷

1923年関東地震による揺れは丸の内地区よりも小さかったが、地震後の延焼火災により地域全体が焼失した。しかし、銀座大火(1872年)後の煉瓦街建設時に街路の幅員を十分に確保していたことから、

震災復興事業による街路や街区の大幅な変更は少なかった。昭和初期になるとこの地区にも鉄筋コンクリート造の建物が建てられはじめ、銀座4丁目に三越などのデパートも出店し、西洋風で整然とした都市空間が創出された。関東地震による焼失被害から復興を遂げた後、1945年の東京大空襲により再び壊滅的な被害を受ける。しかしながら、1丁目の東側、7丁目は比較的被害が小さく、8丁目はほとんど被害を受けなかった。

戦後の高度経済成長期に高層建物が増えていったことは丸の内地区と共通しているが、銀座地区では1ブロックを占めるような大きな建物であっても丸ビルの三分の一程度の敷地規模でしかなかった。これは江戸時代の町割り（丸の内は武家地、銀座は町人地）が影響している。現在銀座に立ち並ぶ建物のほとんどは、高度経済成長期に建てられた。また、高度経済成長期の急速なモータリゼーションにより、東京都心の道路整備の必要性から堀の埋め立ても行われ、現在のような陸続きの街となった。

6.2 市街地状況変化に基づく基礎的分析（地区全体）

(1) 構造別建物棟数（密度）の推移（図9）

建物の全棟数では、1935年と1958年でほとんど変わらないが、高度経済成長を挟み1981年までに大きく減少し、その後はほぼ横ばいとなっている。構造別では、1935年時と1958年時では防火構造を含む木造建物が大半を占めていることがわかる。震災復興時に近代建築である鉄筋コンクリート造建物が130棟ほど建設されたと言われているが、全体の総数からみるとまだ少ない。1958年になると非木造建物棟数が若干増加するが、依然としてその比率は大きくない。その後、高度経済成長を経て1981年には木造建物と非木造建物の割合が逆転し、その後木造建物は徐々に減少している。建物の耐震化は高度経済成長期を境に徐々に進んだと言える。

建物棟数密度は、1935年と1958年時に40棟/haを超えており、その大半を木造建物が占めている。戦前戦後当時は現在の木造密集市街地のような地区であったといえる。高度経済成長以降は、建物棟数密度が25棟/ha前後を推移している。丸の内地区と比較すると建物棟数密度は圧倒的に高い。

建物棟数の減少とその不燃化の状況からみると、建物倒壊リスク、延焼火災リスクは経年的に減少していると考えられる。東京大空襲では被害を受けたが、それによる地震リスクの変化は小さく、地区の脆弱性はそれ以降の高度経済成長期に建設された建物により、大きく影響を受けたということが出来る。

(2) 木造建ぺい率と不燃領域率の推移（図10）

木造建ぺい率は1935年で54.4%、1958年で45.3%と非常に高い値を示しており、延焼火災の危険性が非常に高い地区であったと言える。1981年になると木造建ぺい率は20%以下となり、延焼火災の危険性はほとんどなくなっている。またバブル期である1986年から1990年にはさらに大きく減少している。

不燃領域率は1935年で60%弱と、丸の内地区ほどではないが高い値を示している。1958年まではほぼ横ばいであるが、それ以降に大きく増加し、1990年まで続き、100%近くに達している。1935年と1958年に木造建物が大半を占めているにも関わらず不燃領域率が高いのは、整備された道路による影響が大きいと考えられる。当時は、火災が発生した場合に、道路に囲われた区画内がほぼ燃えてしまう可能性があり、不燃領域率の高さに関わらず延焼火災のリスクは高かったと想定される。1981年以降は非木造建物が主となるため、不燃領域率の値の示すとおり、延焼火災のリスクは激減している。

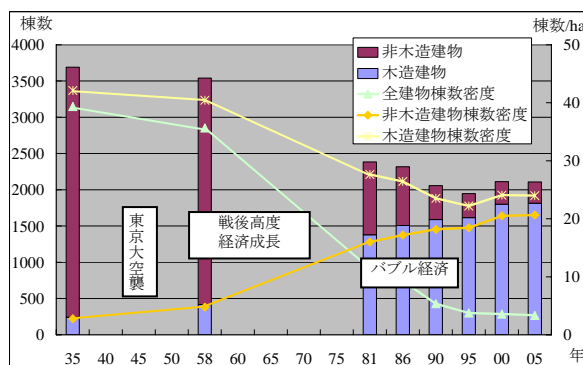


図9 構造別建物棟数（密度）の推移（銀座）

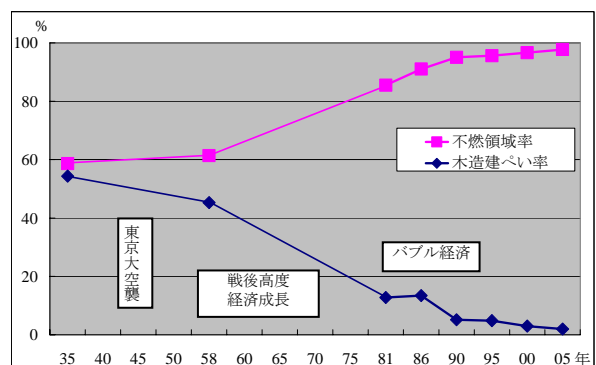


図10 不燃領域率と木造建ぺい率の推移（銀座）

6.3 危険量変化による分析（町丁目別）

(1) 建物倒壊危険量（図11）

銀座地区の8町丁目の建物倒壊危険量の推移を図11に示す。1935年の時点では2丁目が一番高い12.7棟/haを示している。現行の建物倒壊危険度ではランク3程度に相当するが、1981年までに大きく減少し、他の町丁目とほぼ変わらない値に落ち着いている。全体の傾向としては、1981年まで右肩下がりであり、それ以降は多少の変動はあるもののほぼ横ばいとなっている。3丁目は1981年から1986年で大きく減少している。銀座一早く発展したと言われている4丁目は1935年、1958年時点で最も危険量が低い値となっている。8丁目は、1935年、1958年時点で6棟/ha弱ほどの値となっており、他の町丁目と比較して低めの値となっている。しかしながら、空襲時に被害をほとんど受けなかったこともあり、空襲の被害が小さかった7丁目と、地区の東側が被害を受けなかった1丁目とともに、1935年から1958年で危険量が増加している。すなわち、東京大空襲により被害を受けなかった場所では従前の都市構造が維持されたため危険性は下がらず、被害を受けた場所では震災復興の整備のために危険性が下がった、ということが考えられる。その場合、東京大空襲は建物倒壊危険性の変化に影響を与えたということになる。また銀座地区のほとんどの建物は高度経済成長期に建てられており、バブル期の市街地状況の変化は高度経済成長期と比較して小さい。高度経済成長はどの地区においても危険量を下げることになっており、その後のバブル期は建物倒壊危険量の変化に対してほとんど影響がなかったと言える。

(2) 火災危険量（図12）

建物倒壊危険量同様、どの地域も右肩下がりに減少している。1981年以降は、高度経済成長期に建物の不燃化が急速に進んだため、非常に低水準でほぼ横ばいとなっている。地区の中で火災危険量が高い値を示しているのは、建物倒壊危険量同様2丁目である。1935年時点では、5.74棟/haと非常に高い値を示しており、これは火災危険度のランクで4程度に相当する。また1丁目も1935年、1955年の時点で高い値を示している。8丁目は1935年時点で最も低い0.65棟/haとなっているが、変化を見てみると東京大空襲で被害の比較的小さかった1丁目、7丁目とともに1935年から1958年でほとんど変化がない。これらの地域は、高度経済成長期に減少割合が大きくなっている。4丁目は震災復興計画時から建物の不燃化が早く進んだ地域であり、1935年時点で火災危険量の値は2番目に低く、1958年時点では最小となっている。

建物倒壊危険量同様、東京大空襲は被害の小さかった1丁目、7丁目、8丁目では火災危険量を下げることになっておらず、一方、高度経済成長期の開発は全ての町丁目危険量を下げることになっていることが伺える。高度経済成長を経て近代化が大きく進み、その時代に危険量が下がった結果、バブル期の影響は少なかったようである。

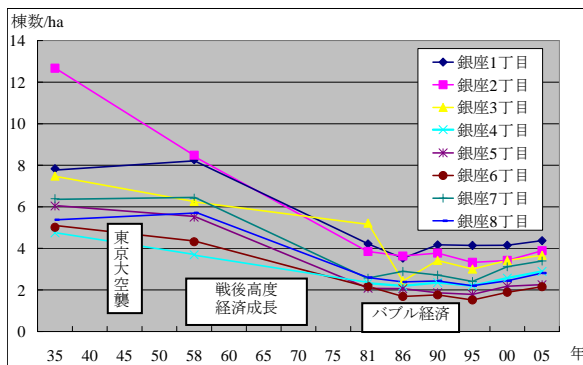


図11 銀座地区の町丁目別建物倒壊危険量の推移

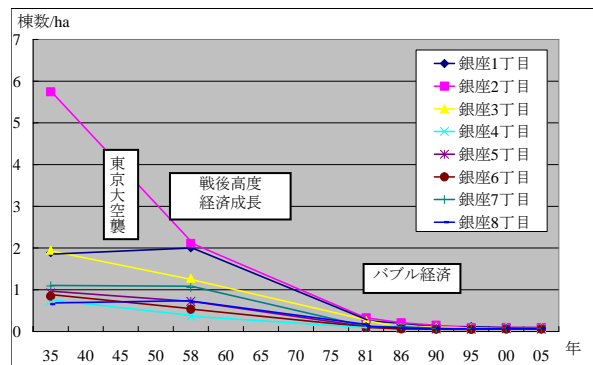


図12 銀座地区の町丁目別火災危険量の推移

7. Google Earthを用いた都市復興デジタルアーカイブズの構築

以上の分析により得られた丸の内、銀座両地区における都市脆弱性の推移を、3章で構築したGoogle Earth上の仮想都市空間の中に表現する。これにより、両地区における物的な都市空間の変化とそれともなう脆弱性の変化を視覚的に把握することができる。都市復興デジタルアーカイブズ構築の基本的な

方法は筆者らの既往研究⁴⁾に基づくものとし、3で構築した物理的な都市空間データに5、6で述べた危険量データを重ねた。危険量は建物ごとではなく、町丁目ごとの指標となるため、建物単位の都市空間データとは別の次元として町丁目ごとのポリゴンに危険量の値に基づく高さ（建物倒壊危険量：100m/危険量，火災危険量：250m/危険量）を乗じて、3次元化し、危険度ランクに基づいた色彩表示を行った（表8）。構築した都市空間同様、危険量3次元ポリゴンにもタイムスケールタグを与えることで、アニメーションで危険量の変化を追えるようにした。さらにプレスマークの機能を用いて、歴史的な事象、都市空間の変化、そして脆弱性の変化に関する考察をテキストで示した。その各地区の変化の一例を以下に示す^{注4)}。図13は丸の内地区の都市空間の変化を示している。オブジェクトの色により建物構造と土地利用が示され、オブジェクトの大きさにより、建物の高さや密度の状態が表現されている。ここでは、1923年の関東地震の被害と震災復興により1919年の状態（a）から1935年の状態（b）のように変化を遂げ、高度経済成長とともに近代化していき（c），さらに現代（d）においても高密度化していく様子が示されている。また図14は銀座地区の都市空間の変化と脆弱性の推移を示したものである。震災復興の後（a，1935年当時），東京大空襲（b）と高度経済成長（c）を経験しているが、地区全体の建物構造は大きく変化しているわけではなく、危険度も一部の地域ではランク3にとどまっている。しかし、バブル期を経験した後は建物構造がすべて非木造構造に変わり、地区の危険量も大きく下がり、危険度はランク1と2に変化している。

表8 危険量の値と危険度ランクの対応表

No	地震リスク	指標	危険性				
			低	←————→			高
1	建物倒壊危険性	建物倒壊危険度	1	2	3	4	5
		建物倒壊危険量（棟数/ha）	0~2.57	2.58~6.60	6.61~13.18	13.19~19.93	19.94~
2	火災危険度	火災危険度	1	2	3	4	5
		火災危険量（棟数/ha）	0~0.14	0.15~0.79	0.80~2.68	2.69~6.33	6.34~

8. 結論と今後の課題

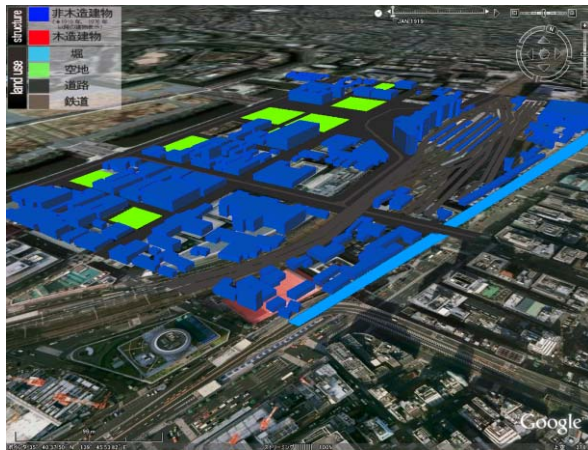
本研究では、異なる時代のアーカイブズから一貫した都市の脆弱性（建物倒壊危険性と延焼火災危険性）を定量化する重回帰モデルを構築することにより、丸の内地区と銀座地区の脆弱性の変遷を明らかにした。また両地区における20世紀の復興の経過を脆弱性の変遷を通して理解することを試みた。また紙媒体から得られたこれらの情報をGoogle Earthをプラットフォームとしたデジタル媒体に変換し、復興デジタルアーカイブズとして再構築した。脆弱性の変遷を分析した結果、両地区に関して以下のことが明らかになった。

① 丸の内

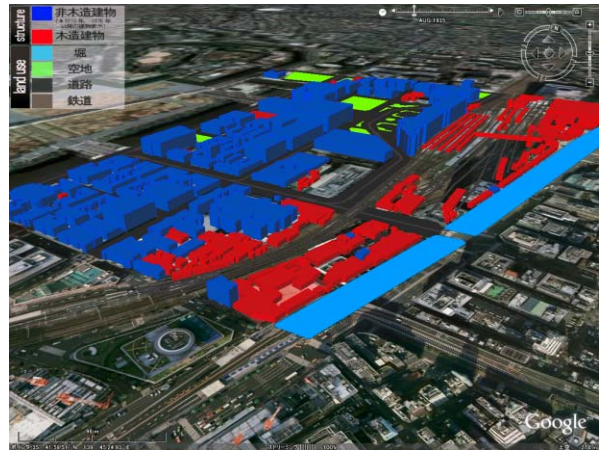
約70年以上前から地震に対する危険性は非常に小さかった。1丁目に関しては、建物倒壊危険量が東京大空襲、高度経済成長期、バブル期を通して経年的に減少しており、火災危険量はほとんど変化がなかった。2丁目は、脆弱性の変化が小さく歴史的な事象との関係性がそれほど大きくないことが示された。対称的に3丁目は、高度経済成長の影響により市街地状況の変化がおき、脆弱性も減少してきたことが確認できた。

② 銀座

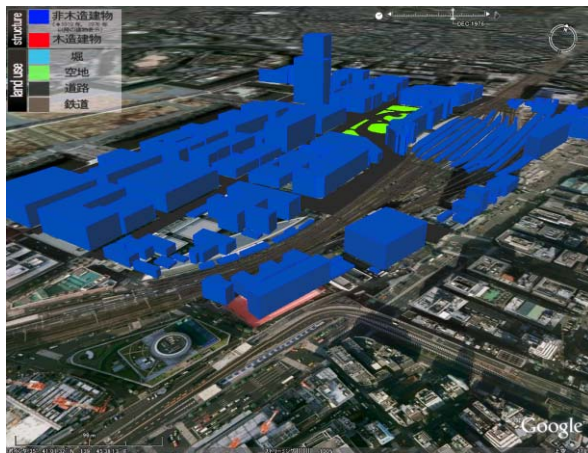
銀座地区全体では、東京大空襲よりも、高度経済成長の方が危険量に与える影響が大きかった。町丁目別では、空襲による被害が比較的小さかった1丁目、7丁目、8丁目は、東京大空襲前後で危険量の変化が小さく、空襲の被害の有無が危険量に影響を与えていることがわかった。そして、町丁目ごとにはばらつきはあるものの、どの町丁目も高度経済成長が終了したころには、脆弱性が大きく改善されていたことが定量的に示された。また、銀座は高度経済成長により成熟した近代都市となったため、その後発生したバブル期の影響はそれほど大きくないことが明らかになった。



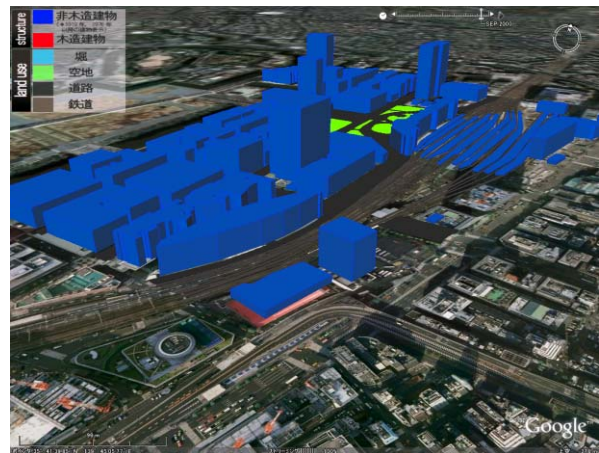
a. 1919年（関東地震前）注4)



b. 1935年（震災復興）



c. 1976年（高度経済成長後）



d. 2000年（現代）

（■非木造建物 ■木造建物 ■堀 ■空地 ■道路 ■鉄道）

図13 Google Earth上での都市空間の変化（丸の内地区）

本研究では丸の内地区と銀座地区という比較的良好な都心部を対象にしており、木造密集市街地のような危険量の高い地区を扱ったわけではない。しかしながら、本研究で提案している重回帰モデルは、危険量の高い地域においても適用可能である。他地域に適用することにより、これまでの都市の開発が脆弱性にどのような影響を与えてきたのかあるいは影響を与えてこなかったのかを把握することができる。そして、そこで得られた知見は今後の都市開発と脆弱性の関係を議論するための重要な基礎資料となり得る。また、紙媒体であった古地図に基づき算出した危険量と創出した仮想3次元空間による都市復興アーカイブズは、今後のデジタルアース時代における都市情報コミュニケーションのひとつの可能性を示している。

ここでは、過去の都市脆弱性の推移を推定するために、市街地状況のデータを説明変数とした重回帰モデルを構築した。しかしながら、建物の倒壊危険性に影響を与える建築年（耐震基準や経年劣化の影響）や、火災の延焼危険性に影響を与える広域な周辺市街地は考慮されていない。現代のようにデータが整備されていなかった時代の脆弱性を詳細に評価するのは非常に困難であるため、現存する限られた資料から推定できる方法を模索して、市街地状況から判断できる簡易的な都市の脆弱性を評価したものである。建物の建築年の影響等について考慮されていない点は本研究の限界ではあるが、既存資料に基づく建物棟数密度等を説明変数とした都市脆弱性推移の理解は、これまでの研究になかったものであり、都市の脆弱性を評価するうえで意義がある。建物建築年の影響や広域周辺市街地環境を考慮した脆弱性の評価については今後の課題としたい。

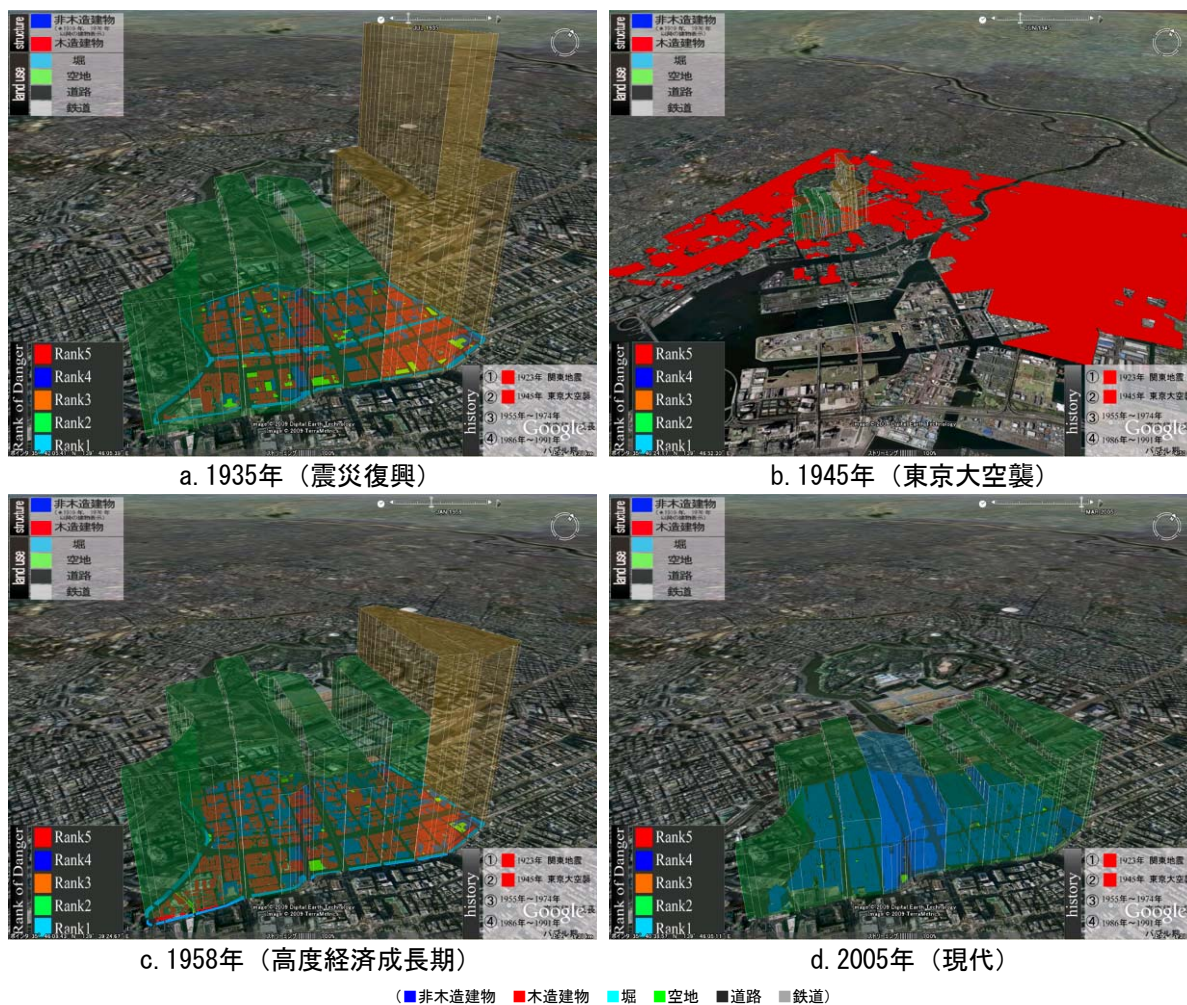


図14 Google Earth上での建物倒壊危険量と都市空間の変化（銀座地区）

謝辞

本稿は、文部科学省科学研究費補助金・萌芽研究「衛星画像等を用いた都市復興アーカイブ構築に関する研究 (No. 18656179)」の中で実施された研究報告である。本アーカイブを構築するにあたり、各機関に所有する文献を使わせていただいた。謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 東京都都市整備局：地震に関する地域危険度測定調査（第6回），日本語，http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/home.htm#toukai，2008.2 入手
- 2) 株式会社キャドセンター：東京23区三次元危険度マップ，日本語，<http://www.cadcenter.co.jp/casestudy/detail.php?ID=vr0033>，2009.3 入手
- 3) 齊藤圭，柴崎道彦，日高圭一郎：時空間情報共有プラットフォームとしてのGoogle Earthの多面的活用に向けた技術研検討，日本建築学会技術報告集，第13巻25号，2007年，pp.317-320
- 4) 村尾修，笹木隆之：Google Earthを用いた江戸・東京の都市復興デジタルアーカイブ，日本建築学会技術報告集，第13巻26号，2007年，pp.811-814
- 5) 東京都：地震に関する地域危険度測定調査報告書（第6回），2008年
- 6) KML 2.1 リファレンス:Google Earth KML，日本語，http://earth.google.co.jp/kml/kml_tags_21.html，2008.4 入手
- 7) 村尾修，山崎文雄：自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数，日本建築学会構造系論文集，No. 527，2000年，pp.189-196

- 8) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト都市防火対策手法の開発報告書，1982年
- 9) 全国市街地再開発協会，：密集住宅市街地のまちづくりガイドブック改訂版，29，2003年
- 10) 東京消防庁防災部防災課：東京都の市街地状況調査報告書（第7回），2005年

補注

- 注 1) 1998年ビル・クリントン政権時に副大統領を務めたアルバート・アーノルド“アル”ゴア・ジュニアが提唱した構想。仮想世界に地球を再構築することで，空間データ基盤とその応用モデル，シミュレーション実験，サイバースペースにおける意思決定等の役割を果たす。
- 注 2) Tim O'Reillyにより設立されたO'Reilly Media社が主催する位置情報技術に関するイベント。2005年に第一回が開催され，毎年当該分野における最先端技術に関わる技術者やユーザーなどが集まり，議論が交わされる。
- 注 3) 東京都の地域危険度は5段階にランク分けされており，各ランクの存在比率は，調査により得られた各危険量（建物倒壊危険量，火災危険量など）が大きいものほど小さくなるようなヒストグラムを想定し，標準正規分布の右半分のうち， $3 \times \sigma$ までの範囲を5等分した各部分の頻度としている。ランク1は最も危険量の小さいグループであり，全体の町丁目の約45%が相当する。第6回の調査では火災危険量0.01から0.14がこのグループに属している。
- 注 4) 本研究で構築したデジタルアーカイブズは，Google Earthをインストールした状態で，下記URLへアクセスすることで閲覧できる。なお，地震リスクの評価は1935年以降のものであるが，丸の内地区については1919年時点での空間情報データも得られているので，当時の物的な都市空間情報も表示できるようになっている。

http://infoshako.sk.tsukuba.ac.jp/~tj330/Labo/murao/TokyoRecovery/MarunouchiGinza2009/urbanrecovery_n.kmz

(受理：2009年7月9日)
(掲載決定：2010年3月5日)

Changes of Earthquake Vulnerability of Marunouchi and Ginza Area in Tokyo and Urban Recovery Digital Archives on Google Earth

IGARASHI Masayasu ¹⁾ and MURAO Osamu ²⁾

1) Former Graduate Student, University of Tsukuba, Ms. Policy and Planning Sciences

2) Member, Associate Professor, University of Tsukuba, Dr. Eng.

ABSTRACT

In this paper, the authors develop a multiple regression model which estimates urban earthquake vulnerability (building collapse risk and conflagration risk) for different eras, and clarify the historical changes of urban risk in Marunouchi and Ginza Districts in Tokyo, Japan using old maps and contemporary geographic information data. Also, we compare the change of urban vulnerability of the districts with the significant historical events in Tokyo. Finally, the results are loaded onto Google Earth with timescale extension to consider the possibility of urban recovery digital archives in the era of the recent geoinformatic technologies.

Key Words: Urban Recovery Digital Archives, Google Earth, Marunouchi, Ginza, Urban Space, Urban Risk