

# 地震動評価地理情報システム “QuSE”の構築

# CONSTRUCTION OF SEISMIC GROUND MOTION EVALUATION GIS “QuSE”

福和伸夫 —\*1 飯田正憲 —\*2  
河村康弘 —\*2 西阪理永 —\*3  
飛田 潤 —\*4

Nobuo FUKUWA —\*1 Masanori IIDA —\*2  
Yasuhiro KAWAMURA —\*2 Riei NISHIZAKA —\*3  
Jun TOBITA —\*4

キーワード：  
地理情報システム, 地震動評価, 地震危険度解析, 都市地震防災

Keywords:  
Geographical information system, Seismic ground motion evaluation,  
Seismic risk analysis, Urban seismic disaster mitigation

In the urban seismic disaster mitigation or the aseismic design of building, it is essential to evaluate seismic ground motion properly. The geographical information system QuSE (Quickly Seismic Evaluation system) is newly developed here. QuSE has three main functions which are the evaluation of seismic ground motion for virtual fault, the identification of active faults which affect any specific site, and the evaluation of seismic risk for arbitrary return period at any specific site. In order to evaluate the seismic ground motion properly, QuSE combines seismic related data, soil data and the various empirical formulas on Geographical Information System (GIS).

## 1. はじめに

適切な地震動予測は、都市の地震防災や建築物の耐震設計を考える上での出発点となる。地震防災の視点からは、マクロな観点で広域エリアの地震動レベルを素早くビジュアルに表現することが、防災訓練、市民の防災意識向上、防災担当者の判断支援、早期地震被害予測等に有用である。一方、耐震設計の観点からは特定の地点における建物への設計用入力地震動の評価が必要となる。耐震設計の性能設計化の中では、地域毎の地震活動度や建設地毎の地盤特性を考慮した地震荷重の設定が意図されており、設計者自らが地震荷重を設定することが必要となる。しかし、一般の設計者は地震や地盤との馴染みが少ないため、地震動評価を難解で取っつきにくい問題ととらえがちである。性能設計を根付かせるには、地震や地盤の問題との距離感を短くすることと、地震動評価を体験を通して会得させることが必要であり、設計者にとって理解しやすい形で地震・地盤に関わるデータや地震動予測手法を提供することが重要となる。

地震動評価に関する既往の知見やデータは膨大であり、これらを適切にシンセシス（合成）することが評価結果の真の精度向上につながる。地震動評価の上では、種々の震源情報を参照した上での想定地震の設定と、予測・評価に用いる各種経験式の性格や適用限界、各種パラメータの感度の把握が重要であり、多くの専門知識を必要とする。そこで、ビジュアルかつインタラクティブな環境下で、種々の震源情報を参照し各種パラメータや評価手法を選択しながら評価結果の変動の仕方を実感でき、地震動評価に関わる専門知識を体得させることのできる地震動評価地理情報システム（GIS）を構築することとした。なお、GISを活用した地震動評価の事例は幾つか存在している<sup>1)2)</sup>。

地震動評価に関連して設計者や防災担当者が知りたい情報は、①想定サイトに影響を与える活断層の検索、②内陸の活断層や過去の被害地震の震源断層に対する決定論的な地震動評価、③想定サイトの地震危険度の確率論的評価、の3つであり、設計者はポイントでの評価を、防災担当者はエリアでの評価を必要としている。そこで、本論では、これら3つをサブシステムとする地震動評価GIS「QuSE (Quickly Seismic Evaluation System)」を構築し、ポイントとエリアでの地震動評価を実現した。本システムでは、ユーザーとのインターフェースは3つのサブシステムが担うが、評価に用いるメソッドとデータは全て共有している。

従来この種のシステムが陥りがちだった問題点は、過度なブラックボックス化により、専門知識なく安易に評価結果を得ること、さらには得られた結果の数字のみが一人歩きしてしまうことにあった。そこで、本システムでは、システムの利用を通してユーザーに地震動評価に関わる専門知識を体得させることを目的の一つとし、地震動評価の不確定要素の多さや震源等の各種パラメータ設定の困難さ、設定したパラメータや評価手法の違いによる評価結果の変動の大きさを実感させるため、数多くの評価手法と教示機能を用意した。

## 2. QuSEの概要

QuSEには、3つのサブシステム「仮想断層システム」、「活断層感度解析システム」、「地震危険度解析システム」が含まれている。それぞれ、任意の場所に設定した仮想断層による想定サイトの地震動評価、想定サイトに影響を与える活断層の検索、想定サイトの地震危険度の確率論的評価を行う。これらの解析に必要なデータとして、震源データと地盤データを用意した。震源データ

\*1 名古屋大学先端技術共同研究センター 教授・工博

\*2 名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生

\*3 名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻 助手・博士(工学)

\*4 名古屋大学工学部社会環境工学科 助教授・工博

\*1 Prof., Center for Cooperative Research in Advanced Science & Technology, Nagoya Univ., Dr. Eng.

\*2 Graduate Student, Dept. of Architecture, Graduate School of Eng., Nagoya Univ.

\*3 Research Assoc., Dept. of Architecture, Graduate School of Eng., Nagoya Univ., Dr. Eng.

\*4 Assoc. Prof., Dept. of Civil Engineering and Architecture, School of Eng., Nagoya Univ., Dr. Eng.

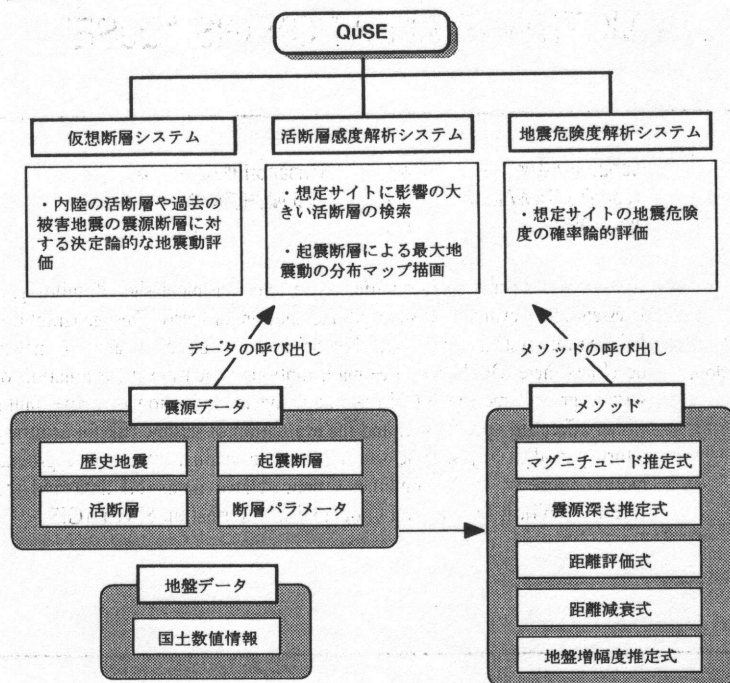


図1 QuSEのシステム構成

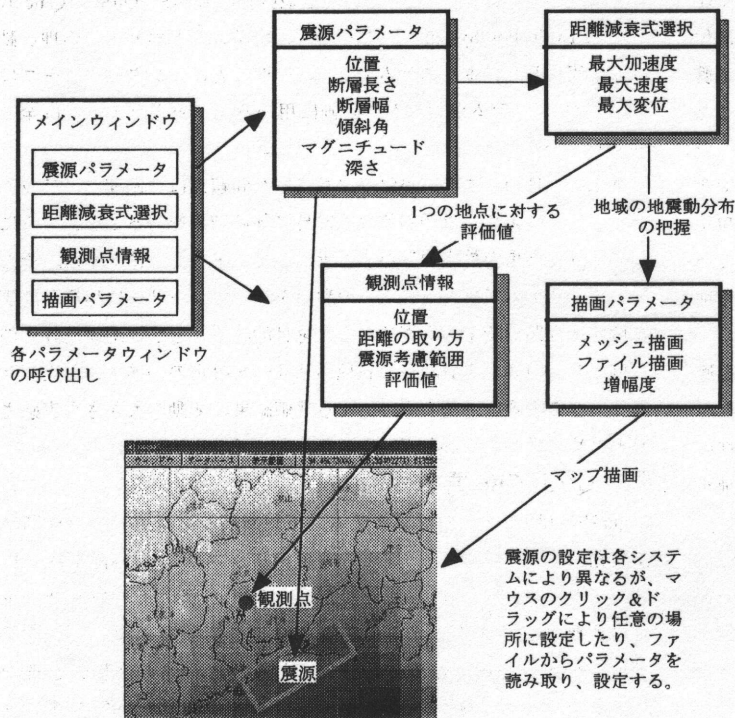


図2 QuSEのパラメータウィンドウの構成と地震動評価の流れ

には、歴史地震、断層パラメータ、活断層、起震断層<sup>9)</sup>の情報が有り、地盤データには国土数値情報<sup>4)</sup>がある。また、地震動評価のメソッドには、断層の長さや面積からマグニチュードを推定する経験式、マグニチュードから震源深さを推定する経験式、そして、観測点の地震動レベルを評価する距離減衰式、表層地盤の増幅度評価の経験式等がある。QuSEはこれらの各種データやメソッドを共有することで、多角的な解析を可能にしている。図1にQuSEのシステム構成を示す。また、図2は、QuSEのパラメータウィンドウの構成と地震動評価の流れを示したものである。QuSEのパラメータ設定は大きく4つに分かれている。メインウィンドウから4つの各パラメータウィンドウを呼び出し、パラメータを順序良く設定していくことで、震源パラメータの設定から観測点での地震動評価、並びに地域の地震動分布の把握が行なえる。この様に、QuSEは各サブシステムのユーザーインターフェースが統一されており、震源パラメータの設定から、各種経験式の設定、地震動評価までを一つの流れで行うことができる。また、各種パラメータや経験式の自由な組み合わせが可能であるため、実行結果の相違の確認も容易である。

### 3. サブシステムの概要と実行例

#### (1) 仮想断層システム

仮想断層システムは、任意の場所に仮想の震源断層を設定し、その断層が地震を起こした場合、観測点ではどのような地震動が発生しうるかを想定するシステムである。地震には、大きく分けて2つのタイプがある。一つは海のプレート境界で発生するプレート境界性地震であり、もう一つは活断層性の内陸地震である。プレート境界性地震は、一般に規模が大きく、断層面の傾斜角が小さい。そのため、震源の破壊域が面的な広がりを持つ。また、プレートが潜り込む角度をおおよそ推定できるため、傾斜角の設定をある程度適切に行える。この様な理由から、震源を断層面として設定することが好ましい。一方、活断層性の地震は、一般に規模が小さく、断層面の傾斜角は比較的大きいことが多い。そのため、震源の破壊域は線的であることが多く、断層を面ではなく、線として設定する方が好ましいと思われる。以上のことから、仮想断層システムでは、プレート境界性地震を震源に選択した場合は震源を断層面として設定し、内陸性地震を選択した場合は震源を断層線として設定するように連動させている。また、マグニチュードは、断層の面積や長さから推定する経験式を選択することで計算できるが、この経験式もプレート境界性地震と内陸性地震とは異なる。そのため、それぞれのタイプの地震に対して、適切な経験式を自動的に選択するようになっている。この様に、仮想断層システムは、震源のタイプの違いや各種経験式の使い分けを容易にし、より適切な地震動評価が行えるように工夫されている。

図3に仮想断層システムの実行例を示す。図中の断層は、プレート境界性地震である東南海地震(1944)を参考に設定した仮想断層である。断層面入力ウィンドウでは、プレート境

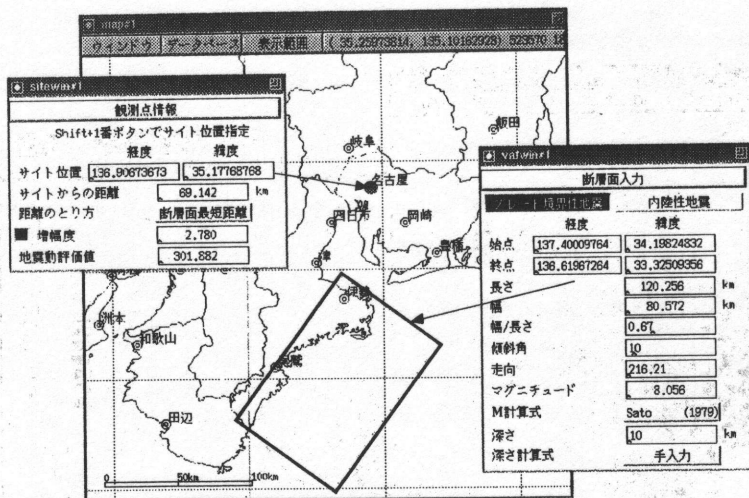


図3 東南海地震を参考に作成した仮想断層と断層面入力・観測点情報パラメータウィンドウ

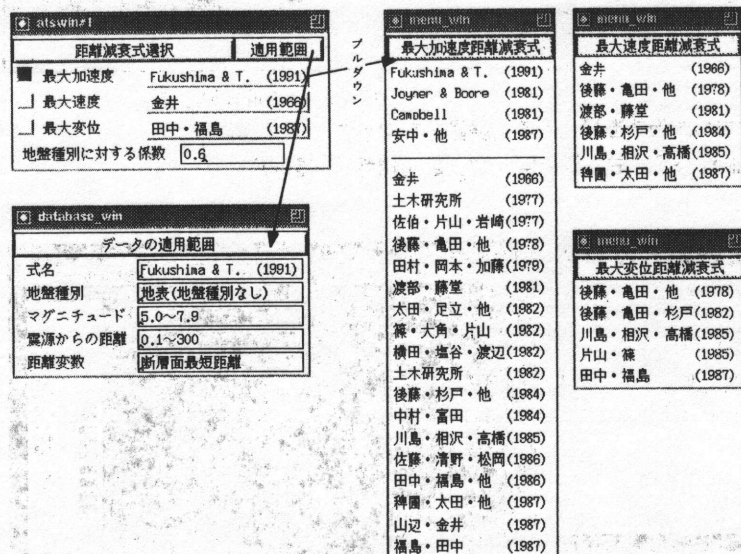


図4 QuSEの距離減衰式選択ウィンドウと各種距離減衰式

界性地震を選択しているため、震源を断層面で設定し、マグニチュード計算式としてプレート境界性地震の断層面積から推定する、Sato(1979)式<sup>3)</sup>が選択されている。この断層面は、マウスボタンをマップ上でクリックすることで始点を決定し、ドラッグしている最中は、終点と長さ・幅のパラメータが変動し、マウスボタンを離すと各パラメータが決定され、長方形でマップ上に描画される。描画後に各パラメータの数字を手入力で変動させることにより、仮想断層面の微調整も可能である。マグニチュード計算式や深さ計算式が選択されている場合にはマグニチュード・深さのパラメータは計算結果に追従して変動するようになっているため、各種パラメータ設定の妥当性を確認しながら仮想断層を設定できる。次に、距離減衰式の選択を行う。図4はQuSEの距離減衰式選択ウィンドウである。選択ボタンを押すと組み込まれている全ての距離減衰式がポップアップし、その中から距離減衰式を自由に選択することができる。ここでは、最大加速度を推定するFukushima & Tanaka(1991)式<sup>6)</sup>を選択した。選択している距離減衰式のデータの適用範囲はデータベースウィンドウで確認することができ

る。データベースウィンドウは、距離減衰式選択ウィンドウ中の適用範囲ボタンをクリックするとあらわれる。次に、観測点の設定を行う。観測点はマップ上でShiftボタンとマウスクリックにより決定される(図3)。観測点が決定されると、その地点における表層地盤の増幅度、観測点と震源との距離、そして地震動推定値が計算される。なお、表層地盤の増幅度には、国土数値情報に基づいて推定した加速度増幅度<sup>7)</sup>を用いており、観測点と震源との距離には断層面最短距離を選択した。図5に、図3で設定した仮想断層による地震動分布マップを描画した結果を示す。3枚の図があるが、左から、地震基盤( $V_s=3000\text{m/s}$ 相当)の最大加速度分布マップ、表層地盤の増幅度、そして地震基盤の最大加速度分布に表層地盤の増幅度を掛け合わせて得られた地表の最大加速度分布マップである。なお、地震基盤における地震動の計算には、岩盤の露頭部で得られている観測値の平均値がFukushima & Tanaka式で予測される最大加速度値の概ね0.6倍であることから、Fukushima & Tanaka式を0.6倍したものをを用いた。図より、地震基盤での最大加速度分布は震源断層からの距離のみに依存した分布マップになっているのに対し、増幅度を考慮した地表面の最大加速度分布は表層地盤の地域性の表れた分布マップとなっていることが分かる。

## (2) 活断層感度解析システム

想定された観測点に影響の大きい活断層を検索することは、地震防災や耐震設計を行う上で重要である。活断層が地震を起こす場合、近接するいくつかの活断層も連動して一緒に動くのが一般的である。松田<sup>3)</sup>は既知の活断層群をそれぞれ独立して1つの地震を起こす「起震断層」群に再編した。活断層感度解析システムでは、松田<sup>3)</sup>による起震断層を対象とした解析を行う。ただし、本システムでは、より簡潔に起震断層を表現し、各種の計算を短時間でできるように、起震断層を一本の直線で近似した近似起震断層を用いた。起震断層情報には断層線の各節点の位置情報があるため、その位置情報より近似起震断層線の中心を計算し、近似直線の角度は最小自乗法により計算した。また、近似起震断層長さには松田<sup>3)</sup>の起震断層の断層長を採用した。本システムでは以下の手順で、周辺活断層が観測点に与える影響を解析する。

①ある観測点を指定すると、観測点周辺の指定半径以内にある近似起震断層を検索する。②検索された起震断層に対し、指定観測点での地震動の大きい順に起震断層を色分け表示し、起震断層リストを表示する。③任意の起震断層が与える最大地震動分布マップを描画する。なお、起震断層情報には活動度情報も含まれており、活動度毎の解析も可能となっている。

図6に活断層感度解析システムの実行例を示す。マップには、名古屋市役所を観測点として、半径150kmの範囲内にある近似起震断層を検索した図が描かれている。画面いっぱいの大きな円は近似起震断層を検索する範囲を示しており、この円内にある直線が評価対象となる近似起震断層である。また、近似起震断層をクリックすると、その起震断層の情報を引き出すことができる(起震断層情報ウィンドウ)。起震断層情報ウィンドウには、起震断層名、活動度、断層型、断層長、断層長地震規模などの基礎データの他に、どのような活断層が含ま

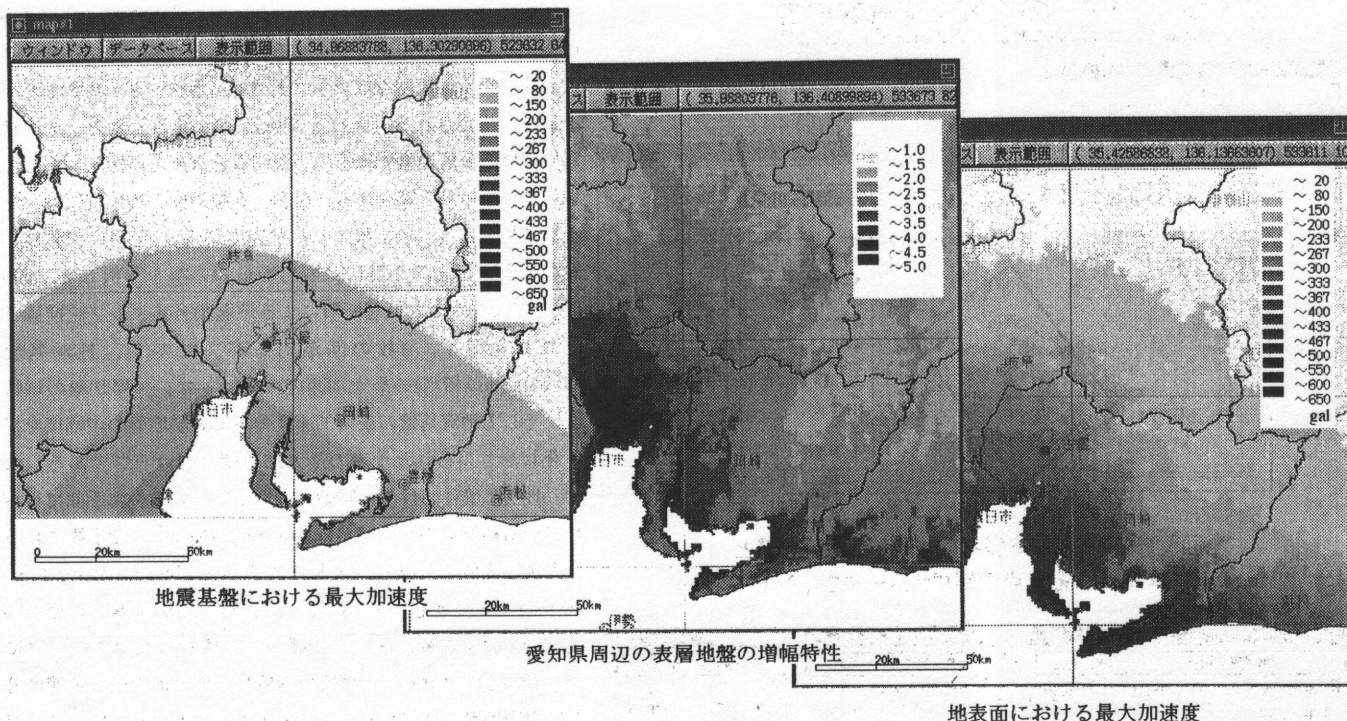


図5 東南海地震を参考に作成した仮想断層による地震動分布マップ  
(距離減衰式: Fukushima & Tanaka (1991)式、増幅度: 国土数値情報より計算)

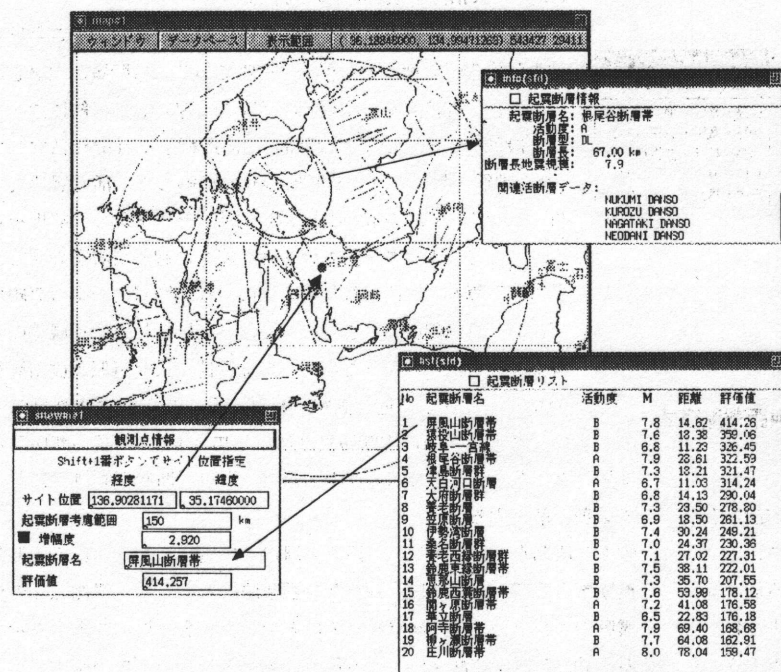


図6 活断層感度解析システムの実例

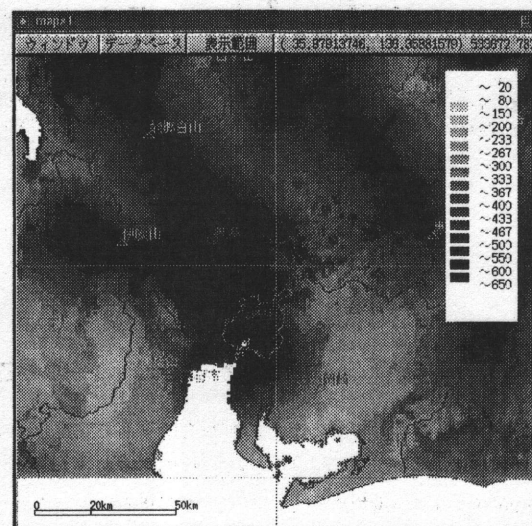


図7 活動度A級の起震断層による  
最大加速度分布マップ

れているか等の関連活断層データも表示される。ここで言う断層長地震規模とは、各起震断層から発生する地震の最大マグニチュードを起震断層の長さから計算したものである。また、起震断層リストには、観測点に及ぼす影響が大きい起震断層を、推定された地震動の大きさ順に20個リストアップする。評価値の計算にあたってはFukushima & Tanaka 式を0.6倍し、表層地盤の増幅度をかけ合わせた。起震断層リストには起震断層名、活動度、断層長地震規模（最大マグニチュード）などの他に、観測点との距離、そして評価値が表示される。また、観測点情報ウィンドウには、起震断層リストにおける一番大きい

評価値とその起震断層名が示される。図7に活動度がA級の全起震断層に対する最大地震動分布マップを描いたものを示す。愛知県周辺地域には多くのA級起震断層が存在し、もしそれらが地震を起こしたとしたら、非常に大きな地震動が予想されることが分かる。

### 3) 地震危険度解析システム

設計用入力地震動のレベルを設定するには、地震危険度の評価が基本となる。特に、性能設計移行後は、建築物の供用年数と目標性能に応じて対象とすべき地震の再現期間を設定し、地震動期待値を評価する必要がある。現在までに種々の地震危険度解析手法が提案されてき

ているが、本システムでは、壇・神田(1986)<sup>9)</sup>の上下限値を有する極値分布を用いた地震危険度解析の手法を採用した。ただし、プレート境界性の地震と内陸活断層性の地震は、発生間隔が異なる上に、活断層性の地震については統計資料が十分でないという判断から、解析には、歴史地震資料を海洋型地震と内陸の活断層性地震とに分けて用いている。また、プレート境界性地震については、点震源を用いるのではなく、震源を断層面で定義した解析を行う。歴史地震のデータには、震源位置とマグニチュード、震源深さのデータが含まれているが、断層面の大きさ、傾斜角、走向のデータは含まれていないため、これらを適切に推定しなければならない。本論では、断層面の大きさをSato(1979)式によりマグニチュードから推定し、傾斜角・走向は、図8に示すように日本列島を経緯で3つの地域に分け、プレートの沈み込み角度を推定することにより設定した。

図9に地震危険度解析システムの実行例を示す。マップ中の複数の

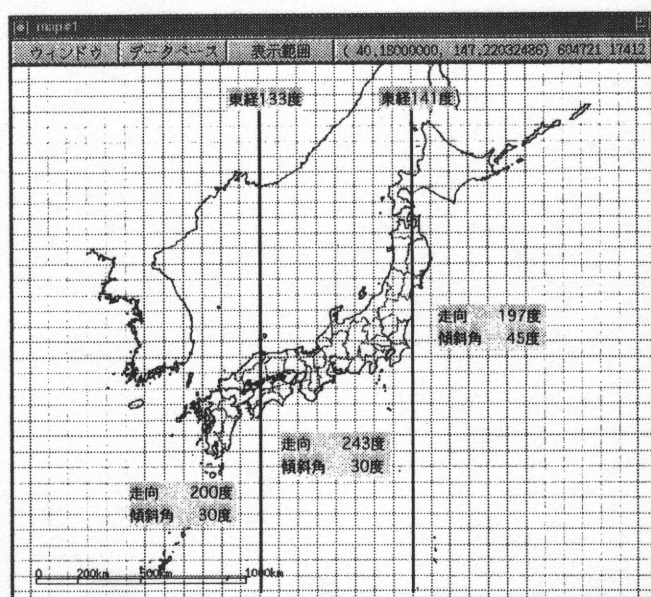


図8 断層面の走向と傾斜角

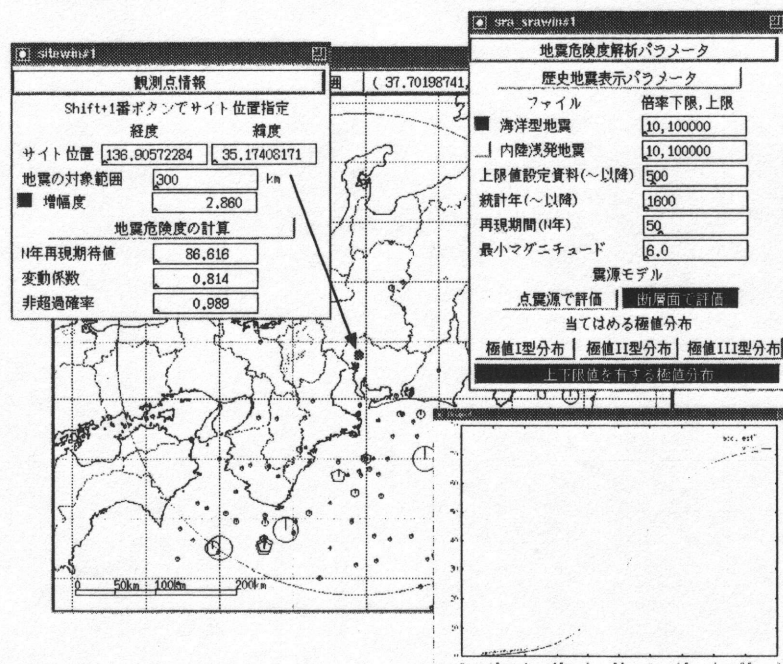


図9 地震危険度解析システムのマップと各種パラメータウィンドウ

小さな円は、歴史地震の震源位置を表している。地震危険度解析パラメータウィンドウで海洋型地震が選択され、統計年が1600年以降と設定されているため、描かれている歴史地震は西暦1600年以降の海洋型地震である。また、画面いっぱいの大きな円は名古屋市役所から半径300kmの円を描いたものである。この範囲内に含まれた震源が解析対象地震となる。また、再現期間を50年に設定し、震源は断層面として評価している。観測点情報ウィンドウには、マウスで指定した地点の増幅度の値が表示される。地震危険度の計算ボタンを押すと計算が始まり、解析対象となった地震に対して年最大値を計算し、その最大値を大きいものから順に並べ、上下限値を有する極値分布関数への当てはめを行う。図9の右下のグラフでは、分布関数への当てはめが適切に行われているかを確認できる。分布関数への当てはめが適切に行われると、N年再現期待値とその変動係数、推定値の非超過確率が計算される。

#### 4. まとめ

QuSEは、各種震源データを参考に、震源パラメータの設定や各種経験式の選択を行い、想定サイトの地震動評価、周辺の活断層感度解析、地震危険度解析を行う統合システムである。それぞれのシステムは、パラメータや各種経験式の組み合わせを自由に变化させ、その実行結果をインタラクティブに確認することが容易に実現できるため、各種パラメータの感度を視認できることが最大の特徴である。従って、構造設計者や防災担当者を対象とした教育的システムには最適であると思われる。このようなシステムを用いることによって地震動に対する知識を深め、より適切な地震動評価を行っていくことが今後ますます重要となってくるであろう。

#### 謝辞

日本技術開発(株)地震防災部の石田栄介博士には、本システムを構築する基礎を築いて頂きました。また、名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻の森保宏助教授には、本システムを構築するにあたり貴重なご意見を頂きました。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 石田栄介, 福和伸夫: 都市地震防災に関わる情報活用のためのGIS構築に関する研究-名古屋市への適用事例, GIS-理論と応用, 第4巻1号, pp. 1-10, 1996
- 2) 本間俊雄, 高崎芳夫, 村山秀幸, 寺岡勝, 吉野広一: 地理情報システム (GIS) を活用した地震動評価システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第5号, pp. 275-280, 1997
- 3) 松田時彦: 最大地震規模による地震分帯図, 地震研究所集報, vol. 65, pp. 289-319, 1990
- 4) 建設省国土地理院: 数値地図ユーザズガイド, 財団法人日本地図センター, 1992
- 5) Sato, R.: Theoretical basis on relationships between focal parameters and earthquake magnitude, J. Phys. Earth, 27, pp. 353-372, 1979
- 6) Fukushima, Y. and T. Tanaka: A new attenuation of relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, Bull. Seism. Soc. Amer. 80, pp. 757-783, 1990
- 7) 福和伸夫, 荒川政知, 西阪理永: 国土数値情報を活用した地震時地盤増幅度の推定, 構造工学論文集, Vol. 44B, pp. 77-84, 1998
- 8) 壇一男, 神田順: 上下限値を有する極地分布を用いた地震危険度解析, 日本建築学会構造系論文報告集, 第363号, pp. 50-56, 1986

[1998年3月30日原稿受理 1998年7月8日採用決定]