

特集④

災害シミュレーション技術の動向

総括ユニット
山口 充弘



はじめに

我が国は、国土面積の10%を占める河川氾濫域（沖積平野）に人口の50%が居住し、資産の75%が集積している。この沖積平野は大部分が低平地で、新しく柔らかい地層である。このような、地形、地質等の自然的条件から自然災害の発生は宿命的なものである。

国民の「安全」を確保する上で災害対策は喫緊の課題である。従来は災害発生をくい止める施策が主流であったが、莫大な予算と長期にわたる施設整備を必要とする事から、近年は被害を最小限に止めるための「減災」を重視する施策にシフトしている。

この減災を実現するためには必要な施設整備もさることながら、災害時の避難や救護などを支援する防災計画を立案する必要がある。

防災計画の基盤情報としての被害想定や現象の予測等を行うシミュレーション技術は有効な手段である。

シミュレーション技術はコンピューター技術の発展が大きな支えとなっており、事象の複雑な処理を短時間で行うことができ、スーパーコンピューターによる数値解析は地震の解析や気象予測等の分野で大きな力を発揮している。

一方、総理府による「防災と情

報に関する世論調査」において52%の国民が知識・理解を持ちたい情報として浸水予想図、地震被害想定図及びハザードマップなどを要望している。このような社会的ニーズに応えるべく近年、浸水予想図、地震被害想定図等の解析結果はインターネットを通じて広く公表している。特に、地震被害想定については詳細なデータに至るまで掲載し住民のニーズに応じている。

本稿では、災害シミュレーション技術の現状と社会的背景からの近年の動向について報告すると共に、利活用方策等について考察する。

基盤情報活用技術の現状

国土数値情報について

国土数値情報は国土地理院が作成しているもので、土地の形状や土地利用等をメッシュに区分しデジタル情報として保有している。この情報は基本的には国勢調査等に合わせ、5年毎に更新される。従来は100m～500mメッシュ情報を解析に利用してきた。例えば標高の取り扱いでは、メッシュ内の数箇所から平均値を出し、これを代表標高とする。これでは、細部の土地形状を捉えることができず、かなり粗い精度になっていた。

そこで、国土地理院では、首都

圏、中部圏、近畿圏において、空中写真から判読した土地利用情報を10mメッシュのデジタル情報として新たに「細密数値情報」を作成した。これは、約5年毎に行われる「宅地利用動向調査」を基に作成され、CD-ROMで一般にも販売されている。

又最近、航空機からレーザを照射し、地上からの反射レーザの時間差を解析して地形地物の位置、高さを測り、同時にデジタルカメラにより画像の取得を行う技術が開発された。航空機はGPS基準局と連動しており、レーザ計測点及びデジタル画像主点の三次元座標が算出される。この技術により

2mメッシュのデジタル情報が得られるので、氾濫シミュレーション等の解析精度は飛躍的に向上するものと思われる。

地理情報システム (GIS : Geographic Information System) 技術の現状

地理情報システム（GIS：「以下GISという」）技術は1990年代に始まり、その後の社会的ニーズの高まりから今や多種多様な分野でその機能を発揮している。

国のIT基本戦略「e-Japan戦略」にGIS推進が取り上げられ、重要

な課題として推進されている。

具体的には国の行政機関では河川、下水道等のインフラ関連でGIS整備を実施しており、自治体においても管理施設や土地利用区分などについてのGIS整備を進めている。

GISは地図や画像との一体的なデータ管理やデータの重ね合わせも可能であり、

多様な加工処理を施すことによ

り施設・土地利用状況等の管理事務の効率化に一役かっている。

特に、現象の高さ方向への広がり进行分析したりする場合、3次元マップが非常に有効な情報を与えてくれる。例えば、従来の洪水氾濫解析では、氾濫水の流速、浸水深等は把握できるが、これらはあくまで2次元での影響把握であった。しかし、3次元マップをリンクさせることにより、洪水氾濫流

の深さ方向の流速分布が把握できる。氾濫水の衝撃力による木造やコンクリート造等の構造の違いによる建物への影響や建物内部の利用形態による影響を予測可能となり、地下施設の被害想定や病院、福祉施設など災害要援護者への影響等個々の建物での影響分析を高精度かつ高密度に行うことができる。

各種災害シミュレーション技術の現状と動向

災害シミュレーション技術の概要

各種の災害シミュレーション技術の進歩は、コンピュータのハードウェアや計測・観測技術の進歩と融合して、将来シミュレーションによる自然現象・災害のリアルタイム予測も可能にすることも期待されており、防災・危機管理に果たす役割は今後ますます大き

くなるものと思われる。各種災害シミュレーションの解析対象とその内容について図表1に示す。

解析に当たっては、地形、地質等の特性を考慮して、各種の計算定数や係数等を設定し、解析を行っているが、過去の実現象に当てはめ定数等の仮定値の妥当性を検証して精度の確保を図っている。

又、被害予測についても前章で紹介した国土数値情報等を利用し、現象と関連づけて必要な解析

を行っている。

災害シミュレーション技術の動向

ここでは、各種災害シミュレーション技術の現状と課題解決に向けた技術開発について概観する。洪水、土砂災害、火山噴火、地震、津波、高潮のそれぞれについて主要事項をまとめると図表2の通りとなる。

図表1 各種災害シミュレーション解析の概要

災害種別	現象	主なインプットデータ	主なアウトプットデータ
洪水	洪水流出※1	流域分布雨量、流域形状、地形データ、土壌・植生等データ	河川各地点の流量
	外水氾濫※2	河道流量、破堤形状、氾濫域地形等データ	氾濫流量、浸水深、氾濫範囲、流速、到達時間
	内水氾濫※3	流域地形、排水施設緒元、河道流量	同上
土砂災害	土石流	降雨量、地形・地質、植生等河道流量、流速、掃流力	流出土砂量、流速堆積厚、到達距離
	地滑り	降雨量、地形・地質・植生等、間隙水圧	滑り形状、崩落土砂量到達距離
火山噴火	溶岩流	大気データ、地形、地質	堆積厚、流下範囲、流速
	噴石火山弾	山体構造	到達距離、速度、衝撃力
	降下火砕物	山体構造、大気データ	到達距離、堆積厚
	火山泥流	降雨量、火山灰堆積量、地形	流下範囲、堆積厚、速度
	火砕流	山体構造、大気データ、地形	到達範囲、速度、温度堆積厚
地震	強震動	震源、規模、地質、地盤構造	加速度分布、震度分布、液状化発生分布
津波	越波	陸域地形、波高、継続時間、越波量	浸水深、到達距離、流体力
高潮	越流氾濫	流域地形、河川内流量、海域地形、潮位気象データ	浸水深、氾濫流量、到達時間、氾濫範囲

(科学技術動向センターにて作成)

※1：流域から河川へ降雨が流出する現象。

※2：洪水時破堤などで河川内の水が街側へ氾濫する現象。

※3：集中豪雨時などで、下水道から雨水が街側へ氾濫する現象。

図表2 各種災害シミュレーション技術の動向

災害種別	技術の現状	技術開発課題
洪水	<ul style="list-style-type: none"> ● 氾濫水の流出量、流速、水深氾濫範囲を時系列で表現可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 下水道流出、排水ポンプ稼働状況等と流域からの流出を一体的に取り扱う内水氾濫シミュレーションの実用化（一部利用開始）
土砂災害	<ul style="list-style-type: none"> ● 巨礫を含む土砂の掃流力や山腹の洗掘等を評価可能 ● 地盤が不均質な場合のすべり現象は有限要素法が用いられている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● なだれ現象の土砂粒子間摩擦係数等の適用に精度上の課題がある。 ● 有限要素法を亀裂や断層が主体となる岩盤等の崩落現象に適用すべく開発。
火山噴火	<ul style="list-style-type: none"> ● 噴火に伴う個々の現象（図表1）については、数値解析は可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 噴火の推移やそれに伴う想定される被害予測の数値解析の開発。 ● 混相流体であるマグマの挙動予測が大きな課題。
地震	<ul style="list-style-type: none"> ● 地表面の揺れを予測する強震動シミュレーションはかなりの精度で解析可能。 ● 構造物の動的挙動は有限要素法による解析が実用化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 複雑な地下構造を精度良く反映した地震波動伝搬数値解析を開発。 ● 液状化の発生や規模を予測する解析技術の開発 ● 断層の破壊過程や破壊が地表に達した地表地震断層の形成過程を予測する解析技術の開発
津波	<ul style="list-style-type: none"> ● 矩形断層面を仮定した断層モデルにより最終海底変動量を算出可能 ● 津波伝搬解析は、伝搬方程式により、時々刻々の水位を算出可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 被害予測における陸上への遡上解析のための波先端条件と陸上の粗度が関係するエネルギー損失のモデル化を開発。 ● 海底地形の細密データや沖合での観測値を入力情報として瞬時に数値予測を行う技術開発
高潮	<ul style="list-style-type: none"> ● 海底地形細密データや潮位観測データの蓄積が飛躍的に増大し、波浪推算解析が実用化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 想定した台風規模とコースによる高潮と洪水を一体的に評価するモデルによる数値予測の開発。

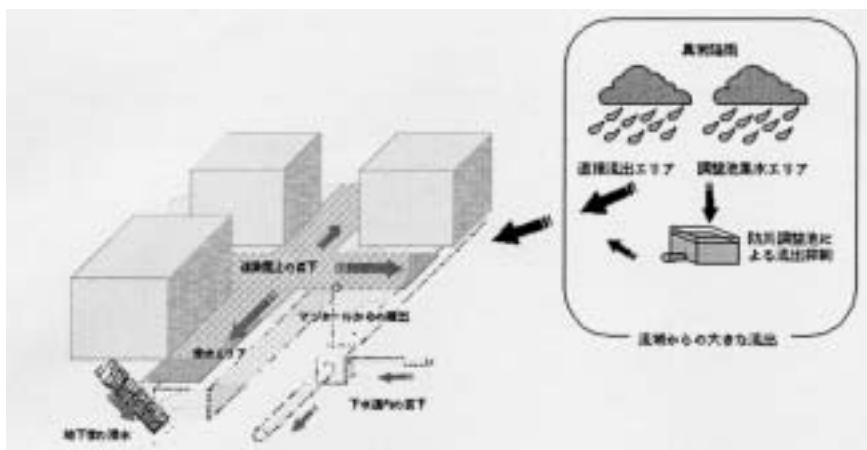
（科学技術動向研究センターにて作成）

最近のシミュレーション技術の事例

鶴見川における内水氾濫シミュレーション

従来下水道等の施設を含む流域の内水氾濫では複雑な管路網での雨水の解析が困難であったが、デンマーク水理研究所が開発してきた都市域・氾濫解析ソフト（Mouse）の高精度版が2000年に開発され、河川での流域流出量解

図表3 解析概念図



（国土交通省資料より）

用語説明

①準線形流出計算モデル

流域から河川へ流出する降雨の流出状況をシミュレートする従来の流出モデルに加え、流域内の土地利用毎に降雨の貯留や浸透など、土地利用変化を評価できるモデル。

析「準線形流出計算モデル①」における流域流出量を境界条件として入力することにより、一体的な解析手法による内水氾濫シミュレーションが可能となった。このシ

ミュレーションは、以下の特徴を有するものである。

- 任意の地点における流量、水位等を時系列で把握可能
- 管路網（ループ管等）や堰・ポンプ施設等を組み込める。
- 下水管の流れと道路等の浸水域の流れを同時に解析が可能で、地下施設への進入状況等が把握可能。
- 解析結果のグラフ・アニメーション表示等多彩なプレゼンテーションが可能

上記シミュレーション技術を使って、鶴見川の低地地域（ポンプによる強制排水が必要な地域）に

集中豪雨が発生した場合の内水氾濫解析を示す。

図表4 流域現況と対象降雨

流域面積	709 ha
市街地率	約99%
地下街	1ヵ所
地下室	18ヵ所
排水	ポンプ排水
防災調整池容量	22,758 m ³
対象降雨	88 mm/hr

(国土交通省資料より)

解析概要は下記の通りであり、従来は不可能であった以下の様な評価が行える様になった。

- 図表5に示す通り、低地地域のほぼ全域で浸水し、局所的ではあるが、2.0m以上浸水する所も有る。
- 図表6に示す通り浸水は約40分で60cmに達し、素早い避難行動が要求される。
- 新横浜周辺では18ヵ所の地下施設全てが浸水する。

(参考) 浸水時における地下室の危険性について

内水氾濫においては、短時間に地下施設が浸水する可能性が有ること、又福岡等で地下室の浸水により死傷者がでている事から、地下施設の危険性が指摘されている。

ここでは、浸水時における地下室の危険性について、実証実験に基づく解析を紹介する。

①水は非常に早く流入する。

街側の浸水上昇速度が0.02m/分、出入り口の段差が無いものとする、地下室内の浸水深を地下室面積と出入り口幅の比(S_0/B_0)との関係で見ると図表7のようになる。例えば、10m²の地下室で1m幅の入り口の場合、約8分で1.5mまで浸水する。

②浸水が始まると扉は直ぐに開かなくなる。

地下室の多くは入り口に扉が有り、入り口前の狭い前室に水が溜まる。この様な時、扉の開閉がどうなるかを見ると、

(1)外開き扉の場合

前室に水が溜まった状態で扉を押し開けるために力が必要とな

る。この力は大人で10～20kgf、老人・子供では最低4～6kgf程度とされている。ここで仮に力を15kgfとすると対応する水位は26cm程度となり、①の地下室の場合、浸水が始まりわずか4分程度で扉を開ける事が出来なくなる事態が発生する。

(2)内開き扉の場合

前室に溜まった水の水压によりドアノブを回すのに大きな力が必要となる。女性の場合その力は20～30kgf・cmとされているが、仮に水压により50kgfの力が作用すると、対応する水位は47cmとなり、5分程度でドアノブを回す事が出来なくなる。

③浸水により、電気系統が停止し機械が止まる。

地下室が浸水した場合、水による絶縁の劣化→短絡・漏電→遮断機による回路の遮断→停電というプロセスをたどり機能停止に陥る。又、非常用照明装置も機器や配線自体が浸水すると機能が停止する可能性が高い。

④流入してくる水に逆らって階段を上る事は非常に危険である。階段の上から流れてくる場合は水の

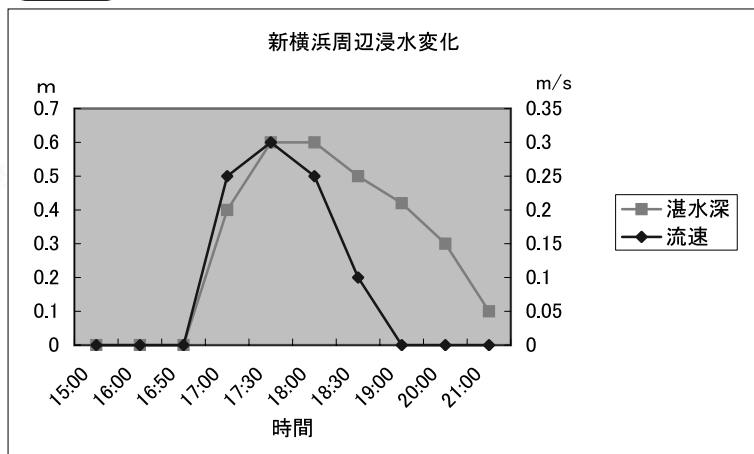
図表5 浸水状況図



(国土交通省資料より)

浸水深が 2.0 以上の箇所
浸水深が 1.0m～2.0m の箇所

図表6 新横浜周辺浸水変化図



勢いはさらに強くなる。

東京都における 南関東地域直下の地震 解析シミュレーション

中央防災会議において切迫性が指摘され、かつ最も大きな被害が予想されるフィリピン海プレート上面に沿うプレート境界型地震を想定し、最新の強震動数値解析を基に震度分析や液状化分布を把握すると共に兵庫県南部地震での詳細な被害実態を反映したものとなっている。被害想定に当たっては、兵庫県南部地震等の被害データに基づき被害項目毎に原因と結果の関係を分析し、被害推定式を作成、次に500mメッシュの国土数値情報を推定式に投入し被害量を算定した。作成・公表は2001年、国土数値情報は1998年のデータを活用している。

地震及び被害想定的前提条件は下記の通りである。

震源：

区部直下、多摩直下、神奈川県境、埼玉県境の4ケース

規模：

マグニチュード (M) 7.2

震源の深さ：

地下20km～30km

震源域（岩盤の破壊面積）：

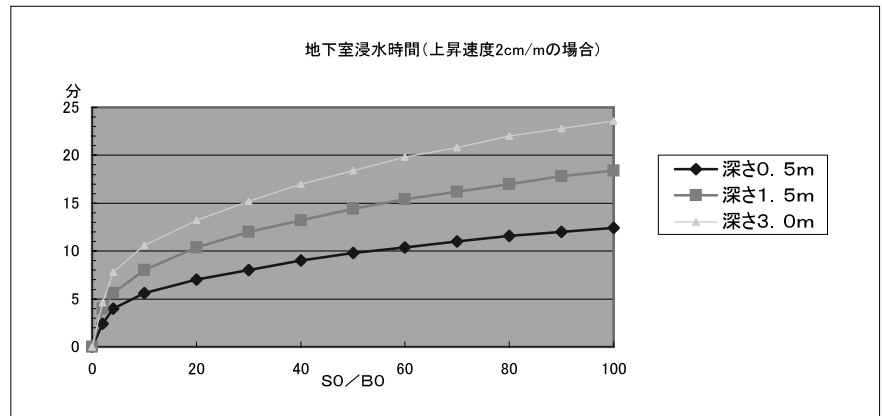
長さ40km×幅20km程度

発生時刻と気象条件：

冬の平日午後6時、晴れ、
風速6m/s

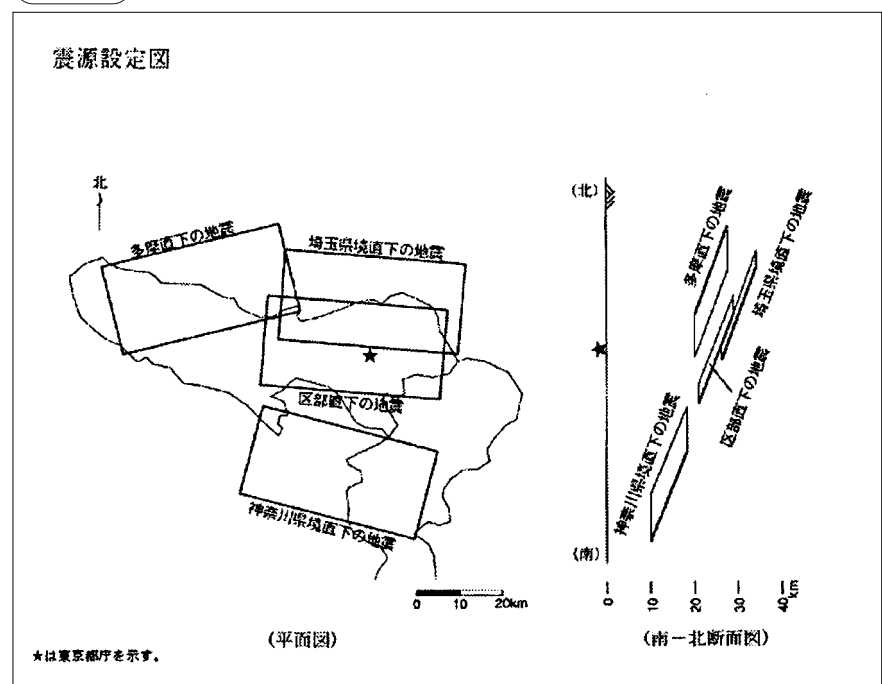
- 想定項目は、①ゆれ、液状化、津波及び地震水害、②建物等の被害、③火災、④鉄道・道路等被害、⑤ライフライン被害、⑥人的被害、⑦社会生活上の被害（食料、医療等）である。
- 被害想定算出に当たっては、建物については地表最大加速度

図表7 地下室浸水関係図



(財団法人：日本建築防災協会作成資料より)

図表8 南関東直下型地震震源想定図



(東京都作成資料より)

を、ライフラインについては、地表最大速度を、鉄道・道路については震度をそれぞれ指標としている。

想定解析結果の概要

- 想定地震の震源断層は地表から20～30kmと深い位置に設定されたことから、4つのケースによる最大震度はいずれも震度6強である。
- 東京直下のフィリピン海プレートは水平に近い角度で沈み込ん

でいて、想定地震の断層運動も水平に近い状態で発生。その結果ゆれは面的な広がりを持ち、直下地震といえども都域における被害は広範囲に及ぶ。

- 建物被害が多数発生し、環状7号線沿線、中央線沿線等木造家屋密集地域での延焼被害が大きい。

区部直下のケースにおける被害想定を都区部の代表区についてまとめたものが図表9である。

図表9 被害予測結果

区 名	夕方の推定人口	面積 km ²	震度面積率 (%)			液状化可能性面積率 (%)		
			5強	6弱	6強	A	B	無し
千代田区	837,243	11.64	34.1	65.9	0.0	27.3	20.5	43.2
江東区	476,981	39.2	0.0	37.5	62.5	65.1	33.9	0.0
大田区	706,786	59.46	0.0	70.0	30.0	78.6	0.0	21.4
杉並区	413,387	34.02	59.9	40.1	0.0	0.0	0.0	100
区部全体	11,222,592	616.35	26.6	59.1	14.3	46.4	6.6	45.7
都内全体	14,404,325	1,776.25	30.0	31.1	5.1	16.8	2.4	80.4

※液状化面積のランクAはメッシュ内の18%、ランクBは5%がそれぞれ液状化する。

区名	建物全壊率 (%)	ライフライン支障率 (%)				消失面積 km ²	死者数	重軽傷者	帰宅困難者
		上水道	都市ガス	電力	電話				
千代田区	3.3	33	66	16	4	0.00	114	8,868	603,930
江東区	4.4	62	100	15	33	2.63	227	9,689	71,265
大田区	3.1	46	82	27	59	10.76	1,104	11,822	118,967
杉並区	0.8	11	0	29	53	8.69	478	4,962	53,331
区部全体	2.2	31	32	20	30	74.85	6,717	136,825	3,348,023
都内全体	1.6	27	25	17	27	95.75	7,159	158,032	3,714,134

(東京都資料より科学技術動向研究センターにて作成)

おわりに

本稿では、災害シミュレーション技術の現状と動向について解析技術を支える基盤情報の動向も含めて概観した。以下、今後推進すべき事項を整理する。

①リアルタイム防災情報提供システムの構築等

- 短時間降雨予測や細密国土数値情報さらにはGIS技術を取り込んだリアルタイムの防災情報を国民に提供できるシステムを構築することが危機管理上重要である。
- 地震・断層発生メカニズムのさらなる解明と現象を再現・予測するシミュレーション技術の確立を推進する。

②最前線に位置する自治体での取り組み

- 水防法の改正により国や県が管理する河川について洪水氾濫想定図の作成・公表が義務づけられた。同様に洪水予測を行う指定河川が県管理河川へ拡大された。今後2万を超える県管理河川について洪水氾濫想定図の作成や降雨予測

も含め短時間での予測発表が必要となる。

- 災害は人的被害や構造物被害はもとより、都市の経済活動や市民生活にも長期にわたって甚大な被害をもたらす。自然現象の再現等とは別に、発生時の避難、救出、救護等の活動を支援するシミュレーションの開発も推進すべきである。
- 災害シミュレーションを基盤情報として、ハザードマップの作成・公表が行われており洪水関係で2割弱、土砂災害関係で3割弱、火山噴火関係で5割弱の作成状況であるが、今後作成・公表にむけて強気に推進すべきである。
- シミュレーション解析やハザードマップの作成に当たっては、学識者による専門的知識や技術の支援、国による予算面での支援も必要である。

③応用の拡大

- ハザードマップ、防災計画書への利活用は行われているが、その他においては特筆すべき施策は行われていないの

が現状である。今後はより広範な利活用を考えるべきで、例えば、シミュレーションで評価された危険性については広報を積極的に進めることや、住宅取得時における宅地建物取引業務法の「重要説明事項」の説明に災害シミュレーションに基づく情報を加えることの義務化、また、浸水シミュレーション結果を地下室構造の建築基準へ反映させるといった利活用を図ることが必要であろう。

- 浸水予想図等の基盤図は2万5千分の1国土基本図を用い、500 m程度のメッシュ状での表示に留まっているが、今後は細密国土数値情報、GIS技術を最大限に活かした氾濫図や液状化分布図等を住宅地図等の高縮尺情報図に表示し公表する。

参考文献

- 1) 計算工学 Vol. 6, No. 3 2001, 計算工学会