

2.4 社会経済予測

(1) 社会的貢献 ―社会経済活動に柔軟に対応する予測システムの実現を目指して―

社会経済現象は人間自身の行動の結果であるにもかかわらず、予測が困難であることが多い。構成員の数が多く、また一人一人の持つ情報や行動が限られているためである。

例えば、交通渋滞や鉄道の混雑を和らげ、解消するにはどうすればよいだろうか。各人には、それぞれ通勤・通学の時間的都合、家から目的地への交通手段の都合があり、混雑することはわかっていても避けられないことも多い。これを解消するには、社会全体での対策が必要であり、これまでも、鉄道・道路の新設から渋滞・混雑情報の伝達まで種々の対策が進められてきた。しかし、事前の入念な新設計画にもかかわらず、予想外の混雑を招いてしまったり、混雑・事故情報を提供した結果、迂回路の混雑を招くなどの副作用も発生し、更に緻密な対策が必要となっている。加えて、こうした交通に関わる課題の解決には、二酸化炭素等の温室効果ガス発生を低減させるというエネルギー消費の最適化の効果も期待されている。

同様の課題は、歩行者の集団の振る舞い、すなわち群衆運動にも見られる。ターミナル駅の乗り換えやイベントの誘導、避難誘導などでも交通の最適化が期待される。

もう1例として、経済活動が挙げられる。必要とする人に、物資・資源を無駄なく効率的に行き渡らせることが経済システムの目的である。しかしながら、自由に生産・取引を行わせれば、自然と実現するとされる古典的な「見えざる神の手」に委ねられる限界が明らかとなり、現代では経済システムも緻密に設計し制御することが不可欠となっている。各生産者・消費者の持つ情報は不完全で、そもそも何が必要であるのかもあいまいである。そこで全体を見通したうえで、「神の手」を設計・制御する必要がある。より高度な精度設計と制御の課題は、消費財・生産財の配分のみならず、金融証券取引とそのシステムでも顕在化しており、株式や為替取引ではミリ秒を争う応答が繰り広げられるなかでの管理・監督が模索されている。

上に挙げた交通と経済の例は、社会経済における独立した事象では決してなく、密接に連携している。そもそも交通現象の大部分が経済活動に起因しており、また経済活動の大部分が交通現象として具現化しているためである。このため、交通現象と経済活動とは本来一体のものとして予測・制御すべきものである。電力・上下水道・ガスのネットワークもその一部である。更に社会経済活動だけではなく、気象天候や地震・火山噴火といった地球物理的事象の予測との連携も期待される。

わが国は、有数の経済生産性を誇る。それ故、その社会経済システムはすでに高度な効率化・最適化が成し遂げられていると考えられる。とはいえ、さらなる生産性向上も議論され続けており、その余地も多いと考えられる。更に少子高齢化といった動的な社会構造の変革への最適化も不可欠な現状である。同様に、防災面でもすでに高度な対策が進められており、さらなる安全性の向上は経済生産性同様に緻密な最適化が必要とされる問題と考えられる。

社会経済の目的は、経済生産性・防災安全性に限られるものではない。結局のところ、一人一人の、更にはすべての人々の幸福を極大化するためのシステムである。しかし現代社会では、核家族化と価値観の多様化等による人間関係の希薄化により、地域社会を基礎として伝統的に機能してきた相互扶助による福祉制度の限界も否定できないであろう。計算機科学を活用した

社会経済予測が、個々人レベルに多様かつきめ細かく対応することができれば、こうした現状を改善できると期待される。



図 2.4-1 社会経済予測

(2) サイエンスの質的变化

社会経済現象では、自然現象における物理法則に匹敵するような客観性・信頼性を持つ基本法則は確立していないのが現状である。このため社会経済予測に際しては、現実の現象を精査し、実際の現象の多様性に匹敵する客観的なシミュレーションモデルを模索し続ける必要がある。このため自然現象以上に、現象を不断かつつづさに見据えつつ、予測モデルを調整し続ける必要がある。こうした緻密なデータ収集・解析を大規模に遂行し続けることが可能となったのは、コンピュータとネットワークが発展し、社会経済データが蓄積されたことによる。これは21世紀直前のことで、今日ではこうした解析はビッグデータのマイニングなどと称せられ、日常的な手法となっている。

そもそも、社会経済活動研究におけるデータマイニングの重要性が注目されるきっかけともなった例が、1995年に発表された株価変動の統計則の確認である。これはRosario Mantegna博士がミラノ証券取引所の株価データを分析（マイニング）し、株価の変化がレニ分布と呼ばれる分布に従うことを確認したという業績である。レニ分布はべき分布の裾、平均より離れた事象が正規分布よりも高い確率で予想される、いわゆるファットテールを持つ統計分布であるが、株価変動にファットテールがあること自体はこの研究以前にも知られていた。しかし金融理論では伝統的にガウス分布・伊藤過程による変動に固執した結果、金融クラッシュのリスクを過小評価する運用を続け、クラッシュ自体を想定外の事象と位置づけるに留まっていたのである。このレニ分布の変動がミラノ証券取引所に限らず普遍的な株価変動であることも確認され、ま

さまざまな経済データのデータマイニングも展開され、経済物理学という研究分野として社会経済への応用が進められている。

一方、こうした経済変動がなぜ生じるのかを理解するために、経済活動の個々の主体をモデル化したエージェントを使った理論研究も進められている。社会経済現象の構成要素である個人や企業・団体を出発点として、構成要素から社会経済全体まで、あらゆるレベルでの可塑性を持ったモデルが必要となるためである。その結果、データマイニングにより発見された諸現象に対して、現実の多様性に負けない表現力を持ったエージェントモデルが開発されつつある。こうした研究から、現実の現象から諸データを柔軟にモデルパラメータに同化し続けることにより社会経済予測を実現するシミュレーションモデルが実現しつつあり、スーパーコンピュータの応用への期待が高まっている。

エクサスケール以降のコンピュータでは、現在までのデータに基づいて一瞬先から遠い未来までの社会経済予測を行うことが期待される。その際、予測自体はあくまでも入力データとシミュレーションモデルによって千差万別となるが、いずれにせよエージェントベースモデルによる離散事象シミュレーションと離散パラメータの管理・実行技術とによる種々のモデルにより、社会の多様な課題に柔軟に対応できるコンピュータシステムの実現が期待されるのである。

以上は、計算機の高性能化と情報通信技術によりもたらされた社会経済科学の質的变化であるが、阪神淡路大震災から東日本大震災へと続いた地震災害は、社会経済科学の目的意識に質的变化をもたらした。

わが国は、関東大震災をはじめ数多くの犠牲の教訓を生かしつつ地震防災・減災を先導してきた。にもかかわらず、阪神淡路大震災から東日本大震災へと続き、現在も進行中と考えられる地震災害では甚大な被害を被ってしまった。津波もその一部である。地震の2次災害としての津波は、更に複数の原子炉の爆発・メルトダウンという3次災害を引き起こし、原発事故からは数えきれない4次、5次…災害・被害がもたらされ続けている。「忘れた頃にやってくる」という寺田寅彦博士の至言の初心に立ち戻り、常に想定外の事が生じ得ることを想定する必要があるが、経済社会予測シミュレーションにはこうした防災・減災を極限まで高度化する手助けとなることが期待されている。とはいえ、地震や火山噴火を十分な時間をおいて予測することが困難である現状では、最初の地震動・火山動や空振を捉えて数分以内に襲いかかる災害に備えることが必要である。人間感覚ではごくわずかな時間であっても、スーパーコンピュータを使えば相当な即時処理が期待できるからである。

(3) コミュニティからの意見

社会経済科学の質的变化にともなう、ビッグデータのマイニングによるデータ同化を使ったエージェントモデルシミュレーションをスーパーコンピュータの活用により実現しようとする研究の歴史はいまだ浅い。このため、研究者コミュニティもマスとしては確立しておらず、現時点では個人レベルであるが、それ故に先鋭的な研究であるといえ、「京」コンピュータおよび次世代スーパーコンピュータの応用により分野の創出というレベルの質的飛躍が期待されている。

こうしたなかで挑戦している研究者レベルのコミュニティからは、我々の社会経済活動の中で蓄積されるビッグデータを効果的に活用するうえでの個人情報保護の法制およびさまざまな災害・事故などの際の有事法制の再検討の必要性が指摘されている。

(4) 計算機要求

上述のように、社会経済予測シミュレーションは大きく分けて、ビッグデータマイニングとエージェントモデルへのデータ同化、そしてシミュレーションモデルによる予測・最適化の3つの部分からなる。以下では、交通流と経済取引とを典型例として挙げる。詳細は第4章を参照されたい。

地球上には、2008年の時点で 8.4×10^8 台の自動車および 3.4×10^7 Km の道路（車線数は考慮しない長さ）があると推定されている。混んでいる道路はごく一部で、すべての車が常に混雑に関わっているわけではないので、計算機資源推定のために、 10^8 台の自動車が 10^7 Km の道路を走っているとする。実際の交通流を全体の $1/1000$ の自動車からの GPS データから毎秒 10^2 バイトの位置情報他をプローブするとすれば、外部から計算機への転送性能は $10^2 \text{B/秒} \times 10^8 \text{台} \times 1/1000 = 10 \text{MB/秒}$ となる。このプローブデータを同化するのに、10 秒間分のシミュレーションを 10^3 ケース使うとし、この同化を 0.1 秒で処理し、続く 1 秒間を予測することを考える。

自動車のシミュレーションには 1 台当たり 1 ステップ 10^3 演算、状態記述・シミュレーション作業領域に 10^2 バイトの比較的簡単なエージェントモデルを仮定し、1 ステップを 10^{-2} 秒とすると、1 ケース当たりの計算量は $10^3 \text{演算} \times 10^8 \text{台} \times 10 \text{秒} / 0.01 \text{秒} = 100 \text{TFLOP}$ である。必要なメモリ容量は、自動車に $10^8 \text{台} \times 100 \text{B} = 10 \text{GB}$ および地図データに 100GB 、実効メモリアクセス量は $10 \text{GB} \times 1000 \text{回} = 10 \text{TB}$ 、実効ネットワーク通信量は 1TB と見積もられる。

以上が 1 秒当たりの 1 ケース分の計算量なので、毎秒 10^3 ケースを 0.1 秒で処理するのに必要な性能は、演算速度 1EFLOPS 、使用メモリ容量 1.1EB 、実効メモリバンド幅 0.1EB/秒 、実効ネットワーク通信バンド幅 10PB/秒 と見積もられる。毎秒予測した交通流状態を記録してゆくとして、ディスクストレージ使用量は毎秒 10GB で、1 日分の記録がおよそ 1PB となる。

次に株式取引所の制度設計の例を挙げる。1 つの株式取引所全体のダイナミクスをトレーダーエージェントモデルによりシミュレートし、取引ルールの最適化を考えるとする。これは、取引参加者にとって魅力的な競争力のある取引所を模索すると同時に、株価の変動に異常が表われることを防ぐ（市場の無用の混乱を避ける）などの目的から望まれているものである。

1 銘柄には 10 程度のトレーダーが参加し、注文は 1 ミリ秒単位で受け付けるものとする。トレーダーエージェントの意志決定は 10^4 演算、 10KB で実現するとする。取引所のシミュレーションに係る演算量は無視できる。取引所には 10^3 銘柄上場されているとするとし、各銘柄について取引時間 5 時間分の取引の 10^4 モンテカルロシミュレーションを 1 ケースとする。

1 ケース当たりの演算量は、 $5 \text{時間} \times 3600 \text{秒/時間} \times 1000 \text{注文機会/秒} \times 10^4 \text{演算/注文機会} \times 10 \text{トレーダー} \times 10^4 \text{サンプル} \times 10^3 \text{銘柄} = 1.8 \times 10^{19} \text{演算}$ 、使用メモリ容量は 10MB である。取引ルールとして 10^4 とおりを試すとすると $1.8 \times 10^{23} \text{演算}$ 、メモリ 100GB となる。通信量・出力する計算結果は、ごくわずかである。このシミュレーションを 1 日程度で終わらせるためには、 2EFLOPS 程度の性能が必要となる。

課題	要求性能 (PFLOPS)	要求メモリ バンド幅 (PB/s)	メモリ量/ ケース (PB)	ストレージ量/ ケース (PB)	計算時間/ ケース (hour)	ケース 数	総演算量 (EFLOP)	概要と計算手法	問題規模	備考
自動車交通流のリアルタイムシミュレーション	1000	※ 100	※ 0.00011	0.001	0.0000000028	1000	0.1	地球上の全自動車交通規模 (10億台、道路総延長3400万Km)、エージェントモデルによるシミュレーション (実際に計算対象となる稼働している車の台数は 10^8 台と推定)	10^8 台 \times 10^3 演算 \times 10^3 step \times 10^3 ケース (10秒分のシミュレーション) これを0.1 secで計算する	要求ストレージおよび総演算量は1日分あたり、とする。一台あたり 10^3 FLOPと推定。
株式取引所ルールの最適化	2100	0.0001	0.00000001		0.0024	10000	180000	1取引所の1000銘柄について1日分の取引をトレーダーエージェントモデルでモンテカルロシミュレーション	総演算量 5時間 \times 3600秒/時間 \times 1000 注文機会/秒 \times 10^4 演算/注文機会 \times 10 トレーダー \times 10^4 サンプル \times 10^3 銘柄 = 1.8×10^{19} 演算 これを24hで 10^4 ケース計算する	整数演算が中心 「要求性能」「総演算量」はインストラクション数

※印の値は未だ精査中である。より精度の高い数値はWeb版 (→「1.2. 本文書の構成」) を参照のこと。