

特集 「プランニング技術の進展と新たな応用展開」

災害救助・軍事プランニング

Planning System for Rescue and Military Operation

野田 五十樹
Itsuki Noda

産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.
I.Noda@aist.go.jp, <http://www.carc.aist.go.jp/~noda/>

Keywords: rescue, simulation, AI, planning, search.

1. はじめに

これまでプランニングの研究では、比較的閉じた世界、悪く言えばトイプロブレムを対象にしてきた。しかし近年、計算機ネットワークの普及や、多くのデバイスなどが普及し、より広い範囲、特に開放的な系を対象としたプランニングの応用が望まれている。その最も極端に開放的な系の例の一つが、災害救助である。

災害救助、特に都市部における直下型地震のような大規模災害では、非常に多くの情報が錯綜し、また対処すべき事象が同時多発的に発生するため、人間による指揮系統のみでは処理しきれないことが考えられる。実際、阪神淡路大震災では、情報の伝達や関係部署との連携が十分にはできなかったことは、記憶に新しい。このような場において、プランニング機能を備えた知的な情報支援システムは、救助活動をより円滑にできるものとして期待されている。例えば、NASA などを中心に組織されている ICSAR (Interagency Committee for Search and Rescue: <http://poes2.gsfc.nasa.gov/sar/icsar.htm>) の研究開発ワーキンググループは、2010 年までに達成すべき目標として、

探索救助に関わる組織の活動を支援するための技術、管理運営、情報システムの革新を育成するを掲げており、具体的には以下の五つの項目をあげている^{*1}。

- 遭難の検出と探索救助の補助
- 遭難場所の同定のための受動的能動的探索の改善
- 双方向通信を利用した低コストの遭難検出・位置同定システムの開発の助成
- 遭難者の救出・避難・輸送・治療の革新的技術の開発
- 探索救助の管理・遂行の改善

そして、これらの目標を達成するために必要な技術の

として、計算機による知識処理技術および指揮系統に対するプランニング・意思決定支援技術をあげている。

しかしながら、大規模災害は非常に多様で変化の激しい対象であり、従来の論理を中心としたプランニングではなかなか扱いきれない。本稿では、災害救助活動およびその類似の性質をもつ軍事活動を対象とするプランニングとその周辺の研究の現状について概観し、これらの分野における研究の方向性を探っていきたい。

2. 複雑系・開放系のためのプランニング

2.1 災害救助の特徴

大規模災害およびそこにおける救助活動は非常に多様でかつ変化の激しい対象である。このため、その救助活動や避難行動のプランニングシステムを構築するうえでは、以下のような点に留意する必要がある。

- 考慮しなければならない現象が非常に広く多彩である。大規模災害では、人間が生活している空間すべてがプランニングの対象となるため、プランニングシステムを設計する段階で、対象を完全に限定することは難しい。当然、すべてを対象とすることは不可能であるので、現時点で対象を限定するとしても、対象を容易に追加できる拡張性がプランニングシステムに求められる。
- 初期状態や災害の進行などの情報が不完全、不確実である。災害時には初動体制が重要であるが、災害の初期においては、プランを立てるのに必要な情報が十分ではないか、あるいは不確実な情報しか利用できないと考えられる。また、災害は時々刻々変化するものであり、それらの変化の情報が確実に得られるとは限らない。さらに、情報が錯綜するため、誤報や食違いといった可能性も考慮しなければならない。よって、プランニングシステムとしては、不完全、不確実な情報をもとに効果的なプランを立てる機能が必須であるとともに、プランニングに必要な情報の収集のプランニングを行う必要もあり得る。
- 複数のエージェントや組織が活動する災害地域で

*1 ICSAR R&D Working Group SAR Vision 2010, <http://poes2.gsfc.nasa.gov/sar/docs/vision2010.pdf>, April 1996

は、消防や警察、自衛隊など複数の組織が活動を行っており、おのおのにおいて個々の目的に応じてプランニングがなされる。また、それらの組織間の調整を行う自治体や、近隣の各組織の応援部隊など、多種多様な組織が連携する必要がある。このため、分散で独立しながらプランニングを行いつつ、連携も行う、分散プランニングが必要となってくる。

- 状況の変化が大きい。災害は時々刻々変化するものであり、さらに、絶えず不測の事態というものに備えておく必要がある。このため、プランニングシステムとしては、再プランニング、動的プランニングが強く要求されると同時に、不測の事態などが起きてよりカバーしやすく、被害や救援資源の浪費を低く保つことのできるプランをたてる必要がある。

これらの特徴は、軍事活動のプランニングにも共通するものである。軍事活動におけるプランニング研究は数多く行われており [desJardins 99, Durfee 99, Jones 99, Kott 99, Tambe 95, Tambe 97, Tambe 99, Tate 00, Valente 99], これらの成果は災害救助に応用することができる可能性がある。しかし、軍事活動プランニングにおいては、軍隊組織の命令階層性や明確な役割分担、および全体として具体的な目的を共有していることを前提としている。一方、災害救助組織は警察や消防、自治体などの複合的な組織であり、これらの組織間での階層性や役割分担は明確ではないことが多い。このため、災害救助ではこれらの不完全な階層性を反映したプランニング手法を考えていく必要がある。

2.2 トータルシステムとしてのプランニング技術

近年、AIやプランニングの技術を使った実用的なシステムをつくるうえで、プラン生成としてのプランニングのみに焦点を当ててきたこれまでの研究スタイルに対する批判が行われている [Myers 99, Pollack 99]。特に、マルチエージェントシステムなどにおける分散プランニングでは、エージェントどうしの競合や同期、あるいは約束の破棄や再プランニングにおける影響の度合いなど、単なるプランの生成以外の部分が、システムの大半を占めるようになる。また、災害救助などの複雑な現象を扱う場合、完全に自動でプランを立てることは難しく、現状では人間による意思決定の支援のための情報提示システムとして、プランニングシステムを考える必要がある。つまり、機械的に決定できる部分は計算機で行い、重大な判断を要する部分を人間にまかせるという切分けが必要になってくる。そのためには、システムのユーザインタフェースをどう設計するかが重要な問題となってくる。プランニングの側面で考えると、判断に必要な情報をどのように抽出・提示するか、また、人間からの入力をもどのように取り込むかといった問題を考える必要がある。

また、シミュレーションの技術も重要な要素となる

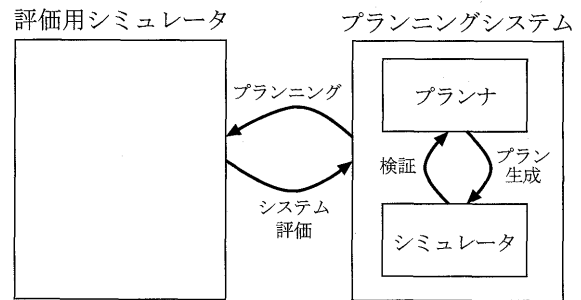


図1 プランニングとシミュレーションの関係

(図1)。通常のプランニングシステムでは、選択された動作の効果は、事前に記述できるものとされ、シミュレーションは軽視されてきた。しかし、実世界を対象とする場合には、ある動作に対する環境の変化を完全に予測することは難しい。よって、精度の良いプランを生成するためには、精度の良いシミュレーションが必要になってくる。

また、シミュレーションは、プランニングシステム全体を評価する場合にも必要になってくる。災害のような現象では不測の事態や確率的現象を扱わなければならない。このため、特定の状況でのみ非常にうまくいくプランを立てることは危険であり、どのように事態が転んでも、被害が急激には増加しないようなロバスタなプランが質が良いと判断されるべきである。このような評価を下すためには、たてられたプランを繰り返しテストする必要がある。そのためにはシミュレーションは欠かせない。

3. 災害救助プランニング

3.1 事故対処プランニング

Gervasio らは、化学プラントの事故への対応のプランニングを支援するシステムを構築している [Gervasio 98, Gervasio 99]。彼らのシステムでは、CBRを利用して、事故の状況から原因を特定し、さらにその原因に対する対処方法の案を提示する。ユーザは、提示された案を修正することができ、システムは修正案に対し被害や対処時間を再計算して提示すると同時に、その修正をユーザの好みとして学習する。このようにしてユーザの好みを学習することで、次回と同様の事故に対しては、第1候補として修正済の案を提示することができる。

このシステムのユーザを、事故に対処する専門家と考えた場合、その専門家の知識をシステムは学習によって獲得しているとみなすことができる。災害のような開放形を対象とする場合、このような漸進的にシステムに改良を加える方法を提供することは、今後重要になっていくと思われる。

3.2 空路による負傷者避難プランニング

Kott らは、空路による負傷者避難プランニングシス

テム TRAC2ES を開発している [Kott 99]. 負傷者避難, 特に戦争時における避難のプランニングでは, 以下のような特徴がある.

- 複数のゴール (負傷者の現在他と最終目的地 (病院))
- 複数種類の有限資源 (飛行機, 病院) とその定員
- 飛行機の種類や病院の規模, 施設のばらつき
- 時間制約
- ゴールや条件が動的に変化
- 負傷者の現在値/目的地が動的に変化

これらのうち, 最後の二つがこの問題における最大の特徴である. つまり, プラン生成後, これらの条件が変化することで, 再プランニングが必要とされる. 彼らのシステムでは, この再プランニングを効果的に行うために, 現在実行中のプランを, プランニングの制約条件として取り込むことで, 再プランニングによるむだを最小限にしている点である.

この問題設定および手法は, 負傷者輸送に限らず, 災害時の一般的輸送問題に適用できる. しかしながら, 災害時では,

- 道路閉塞による交通渋滞
- 救助部隊による閉塞道路の啓開

という要素がプランニングに加わる. 特に, 後者の特徴は複数の要素がからむ問題であり, 分散プランニングの問題を含んでいる.

3.3 ボトムアップによるプランニングシステムの設計

災害救助のような実世界の現象を対照したプランニングシステムを設計する場合, 汎用的なプランニングシステムを適用することが困難な場合がある. その多くの場合は, 扱う事物や関係, プランの立て方のノウハウなどの専門家の知識を, 汎用のシステムで扱えるように論理的に記述することが難しいためである. このような場合, 専門家による実際のプランニングからボトムアップにシステムを構築するという方法がある. この方法は, 対象に応じたアドホックな知識を組み込むことが容易である一方, 専門家が気づかない, プランニングに関するシステムの欠陥をもちやすいという欠点がある. これを回避する方法として, Cottam らは, プランニングシステムに使う知識をドメイン知識とシステム知識に分け, システム知識には, プランニングシステムとしていくつかの汎用パターンやパーツを用意しておき, ドメイン知識をそれらの汎用パーツに当てはめていくという手法を提案している [Cottam 95, Cottam 98].

例えば, 事故や災害における搜索救助のプランニングシステムを構築する場合を考える. 専門家によるプランニングのモデル (ドメイン PSM (Problem Solving Model)) として, 図 2 が提案されたとする. このモデルは, 救助用のプランニングシステムとして大まかな流れは表しているが, backward chaining などの機能が欠

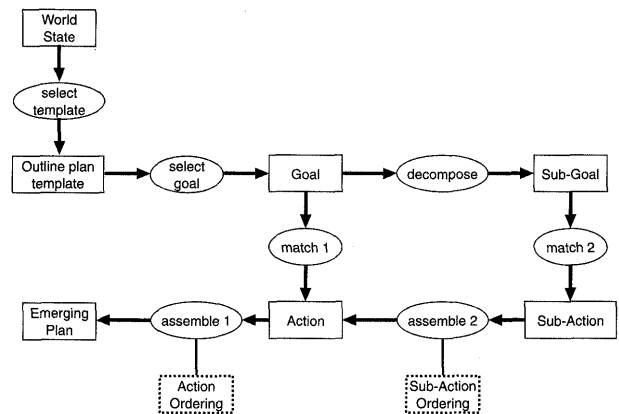


図 2 搜索救助におけるドメイン問題解決モデル

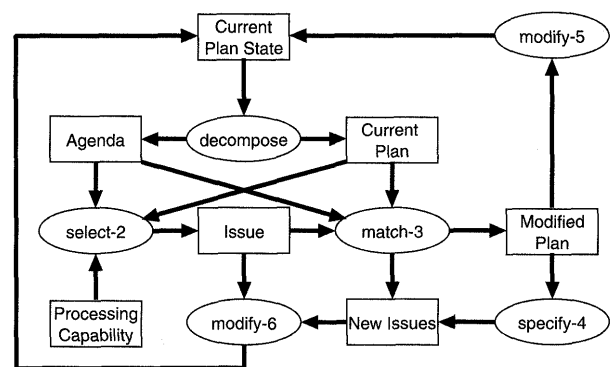


図 3 システム問題解決モデル

けている. そこで, 図 3 に示すようなプランニングのモデル (システム PSM) を用意し, ドメイン PSM とのマッピングを考え, プランニングシステムの実装を行う. システム PSM は, プランニングシステムとして, 比較的汎用性の高いものとして設計されており, ドメイン PSM では欠けている機能や手順を補うことができる. これにより, より完成度の高いプランニングシステムができるとともに, ドメイン PSM では欠けていた部分を逆に実際の現場に反映させる使い方も可能である.

このような手法は, UML の Unified Process [イヴァー 00] と似た考えであり, 実用的なシステムを構築するうえでは, 有用な考え方であると思われる.

3.4 地震災害予想・対策

静岡県は, 東海地震が起こった場合, 最大の被災地になる可能性が高いため, 古くから地震対策には力を入れてきている. また, 阪神・淡路大震災を契機に, 各自治体において, さまざまな地震対策プランが立てられている. 例えば, 静岡県では, 平成 13 年の 5 月に, 第 3 次地震被害想定を行っている (http://www.e-quakes.pref.shizuoka.jp/data/e_page/e_40.htm). この報告では, いくつかのケースについての被害予想や, それに対する各救助組織の行動計画が述べられている. 当然ではあるが, これらの予想や計画はこれまでの経験やデ

ータから人間が手で求めたものであり、計算機の利用は、震度予想など一部に限られている。また兵庫県では、阪神・淡路大震災の教訓をもとに、実際の災害時に利用可能な情報システムの構築に力を入れている (<http://web.pref.hyogo.jp/syoubou/phoenix/index.html>)。しかしながら、計算機の利用は情報の蓄積と提示にとどまっており、効果的な情報収集のプラン提示や、意思決定の知的支援といった AI 的な手法の利用はまだほとんど見受けられない。

このような現状に対し、プランニング技術、あるいは AI 技術を適用することを考えた場合、以下のような問題点が浮かび上がってくる。

- 上でも述べているように、大規模災害では対象とする現象が幅広く、限定することが難しい。さらに実生活に密着した現象のため、新しい素材や新しいデバイスなどが普及する度に、新しい要素としてシステムに付け加える必要がある。よって、システムは容易に拡張可能である必要がある。このためには、広く一般の事物を論理的に整理するためのオントロジーの整備が必要となる [Valente 99]。
- プランや情報を実際に実行・利用するのは現場の各救助隊であり、また、一般の市民のボランティアの力を利用することも重要である。このためには、自治体の本部などの PC だけでなく、携帯可能なデバイスにおいて利用可能な軽量のプランニングシステムを開発する必要がある [Tate 00]。

一方、現状の技術を容易に適用できそうな分野も存在する。例えば、静岡県では、震災時における物流のプランニングが問題視されている。物流のプランニングは、OR の分野で長い歴史があり、比較的容易に適用できる技術はあると思われる。ただし、災害時のプランニングでは、単に静的に物流を最適化するだけでなく、時々刻々変化する交通状況を考慮に入れてプランニングする必要がある。さらに、物流においてどの部分がネックになっているかなどを推定し、交通網の復旧作業の優先順位を提案するといった機能も要求される可能性がある。

3.5 包括的シミュレータの必要性

2.2 節でも述べているように、プランニングとシミュレーションは深い関係にある。極端に言えば、シミュレーションを行うことができなければ、プランニングシステムをつくることはできない。災害救助にプランニングシステムがほとんど応用されていない背景には、このシミュレーションの技術が不完全であることがあげられる。

災害においても、個別の事象を取り出したシミュレーション、特に火災のシミュレーションは数多く行われている。例えば、火災における消防車の平均到着時間を推定するシミュレータがあり、それを利用して、消防車の日常的配置のプランニングを行うサービスが存在する

(http://www.isad.or.jp/sth/sth_index.htm)。また、オーストラリアでは重大な災害である山火事のシミュレーションを行う **Bushfire Spread Simulator** が **CSIRO** により開発されている (<http://www.ffp.csiro.au/nfm/fbm/sirofire/sirofire.html>)。このほか、東京消防庁による火災シミュレータでは、消防隊の消化能力を考慮した延焼シミュレータの開発が行われ、大規模火災におけるプラン生成の支援に用いられている。

都市部における直下型地震のように、災害は複合的に生じた場合に被害が拡大するものであり、そのような場合にこそ支援システムが必要になってくる。このことを踏まえ、複合的な災害の進展およびそこにおける消防隊などの活動の効果を同時にシミュレーションすることのできるシステムの開発が進められている [Kitano 99, 田所 00a, Tadokoro 00b]。このシステムの特徴は、複合災害の各現象を別々のシミュレータとして実現し、それらをネットワークを介して接続することである。このような枠組みを用いることで、新しい現象のシミュレータの追加や、より精緻なモデルによるシミュレータの改善が容易になり、システム全体としての拡張性が保証しやすい。また、シミュレーションされる災害現場で活動する救助隊エージェントや住民エージェントもネットワークを介して接続されるため、分散プランニングやマルチエージェントプランニングのテストや実装が容易に行えるようになっている。この活動に関する情報は、ロボカップのホームページ (<http://www.robocup.org>) から **RoboCup-Rescue** のリンクをたどっていただきたい。

4. 軍事プランニング

4.1 分散プランニング

desJardins らは、海軍と海兵隊の共同作戦の分散プランニングシステム、**DSPIE** を開発している [desJardins 99]。このシステムでは、海軍プランナと海兵隊プランナが、調整プランナを介して人間によるプランニングをサポートするものである。

DSPIE は以下のように動作する。調整プランナは、トップレベルのゴールを実現するラフなプランをたて、そのプランのサブゴールの集合を下位のプラン (海軍および海兵隊プランナ) に割り振る。下位のプランナは、与えられた各サブゴールを達成するサブプランを展開していく。その際、各プランの事後条件を関係するプランナと交換しながら、サブゴール間の相互依存関係を解いていく。下位プランナどうしの通信量を押さえるため、**query tree** [Levy 93] を用いて必要な事後条件のみが抽出され、プランナ間で共有される。つくられたサブプランは最終的に調整プランナに送られ、統合される。

このように、分散プランニングシステムでは、プランナどうしの階層関係がはっきりしており、下位プランナ

どうしの相互作用が、個々の制約の交換以外ない場合は、従来のプランニング手法を比較的容易に拡張することができる。特に、軍組織のように、命令階層の上下関係やその役割分担がはっきりしている場合には、上記のような方法での分散プランニングが可能になる。

一方、[desJardins 99]でも述べられているが、救助活動のように、階層構造が不完全な場合には、プランナどうしの調整を柔軟に行う工夫が必要となってくる。例えば、DSPIEでは事後条件のみをプランナ間で共有しているが、事前条件を共有したり、前提条件のそろわないサブゴールのプラン展開を遅らせるといった方法が研究されつつある。これらのことを分散環境で行うためには、各プランナが他のプランナの推論状態をある程度予測できる必要があり、BDIモデルなどのエージェントプランニングの手法が必要となってくる。

4.2 実時間プラン修正

軍事行動においては、プラン立案後、作戦行動中の不測の事態に対し、プランの修正を行う必要がある。Tateらは、プラン修正が可能な小部隊向けのプランニングシステムを構築している [Tate 00]。

このシステムは、以下の二つの特徴をもつ。

- 各部隊が着実にプランを実行できているかをモニタするためのシステムが組み込まれており、プラン実行の不具合を検出することができるようになっている。また、プラン実行のモニタリングのために、センサの配置などを計画したり、多数のセンサ情報から現在のプランおよび部隊の役割に関連の深い情報のみを抽出する枠組みを用意し、情報の洪水となることを防いでいる。
- 現在のプランが実行不可能になった場合、そのプランの修正案の候補を提案する機能をもつ。修正プランは、現在のプランの進行具合、修正による他の部隊への影響などを考慮にいれ、O-Planのフィルタリング機能を用いてむだな候補の生成を抑えている。

彼らも述べているように、このシステムはまだ小規模の問題にしか適用されておらず、特に、環境のモニタリングが十分に行えることを前提としてシステムがつけられている。このため、大規模災害のように、情報収集が大きな問題になっている対象に対しては、直接的に応用することは難しい。一方、作戦行動中の各部隊が容易にプラン修正などを行えるために、携帯端末を前提としたインタフェースを構築している。今後、一般生活での携帯端末の利用がよりいっそう普及することを考えれば、災害時のプランニングシステムとして、同様の枠組みを利用することは十分考えられる。

4.3 チームワークの記述

複数のエージェントが活動する場合、エージェントど

うしの協調動作をどのようにプランとして記述するかが問題となる。Tambeらは、エージェントの集団が共通の目的をもつチームである場合を取り上げ、エージェントのチーム内での協調動作をチームワークとして明示的に記述し、役割に応じて各エージェントがそのチームワークに含まれるサブゴールの達成に責任をもつという枠組み (STEAM) [Tambe 95, Tambe 97] を提案している。STEAMでは、プランは展開された木構造 (プラン木) として事前に用意されている。プラン木の各ノードは達成すべきサブゴールで、共同で達成すべきゴール (チームオペレータ) と、個々のエージェントが達成すべきサブゴール (個人オペレータ) に明確に区別されている。チームオペレータから個人オペレータへ展開する場合、その個人オペレータの各エージェントに対する割振り、役割 (role) という形で事前に定義されている。[desJardins 99] と異なり、このプラン木はすべてのエージェントが個別にもっており、エージェント間を明示的に調整する調整エージェントは存在しない。そのかわり、チームワークを遂行するための、ドメインに依存しない知識 (domain-independent teamwork knowledge) を提案し、それを用いて各エージェントのプラン実行の同期や調整を行っている。

このSTEAMの枠組みでは、作戦実行の前にプランを固定してしまうため、不測の事態が起きた場合などに柔軟な対応をとることができない。これを改善するために、エージェント間でのプランの提案・承認を行う枠組み、CONSA [Tambe 99] をSTEAMに組み込んでいる。CONSAでは、あるエージェントがある情報やゴールを提出すると、チームの他のメンバが自身の実行中のプランとの整合性などをチェックし、必要に応じて不整合を解消するチームオペレータを提起し、各メンバ承認の後、実行するという交渉を行う。変化が多い環境では、この交渉が非常に多くなるため、交渉の回数を提言するため、decision theoryに基づく推論や交渉の重み付けなどにより、より重要で確実な交渉を先に行うようになっている。

5. ま と め

以上、災害救助および軍事活動に関するプランニングシステムについて、その現状と問題点について概観してきた。災害救助の支援は、AIをはじめとする情報技術はほとんど適用されていない分野であり、今後、各種の応用が始められると考えられる。一方、災害は非常に多種多様な対象であり、プランニング技術を利用した実用的なシステムをつくるためには、純粋なプラン生成だけでなく、シミュレータ、通信、環境モニタリング、ヒューマンインタフェースなどを含めた、トータルなシステムとしての研究がよりいっそう必要であると考えられる。

◇ 参考文献 ◇

- [Cottam 95] Cottam, H., Shadbolt, N., Kingston, J., Beck, H. and Tate, A.: Knowledge level planning in the search and rescue domain, in Bramer, M. A., Nealon, J. L. and Milne, R. eds., *Research and development in expert systems XII*, pp. 309-325, Information Press Ltd, Oxford, England (1995)
- [Cottam 98] Cottam, H. and Shadbolt, N.: Knowledge Acquisition for Search and Rescue Planning, *International Journal of Human Computer Studies*, Vol. 48, pp. 449-473 (1998)
- [desJardins 99] desJardins, M. and Wolverton, M.: Coordinating a Distributed Planning System, *AI Magazine*, pp. 45-53 (1999)
- [Durfee 99] Durfee, E. H.: Distributed Continual Planning for Unmanned Ground Vehicle Teams, *AI Magazine*, pp. 63-69 (1999)
- [Gervasio 98] Gervasio, M. T., Iba, W. and Langley, P.: Case-based seeding for an interactive crisis response assistant, in *Case-Based Reasoning Integrations: Papers from the 1998 Workshop (Technical Report WS-98-15)*, pp. 61-66, American Association for Artificial Intelligence, AAAI Press (1998)
- [Gervasio 99] Gervasio, M. T., Iba, W. and Langley, P.: Learning user evaluation functions for adaptive scheduling assistance, in *Proc. 16th International Conf. on Machine Learning*, pp. 152-161, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA (1999)
- [イヴァー 00] イヴァー, グラディ, ジェームズ: 統一ソフトウェア開発プロセス, 翔泳社 (2000)
- [Jones 99] Jones, R. M., Laird, J. E., Nielsen, P. E., Coulter, K. J., Kenny, P. and Koss, F. V.: Automated Intelligent Pilots for Combat Flight, *AI Magazine*, pp. 27-41 (1999)
- [Kitano 99] Kitano, H., Tadokoro, S., Noda, I., Matsubara, H., Takahashi, T., Shinjou, A. and Shimada, S.: RoboCup Rescue: Search and Rescue in Large-Scale Disasters as a Domain for Autonomous Agents Research, in *Proc. of IEEE Conf. on Man, Systems and Cybernetics* (1999)
- [Kott 99] Kott, A., Saks, V. and Mercer, A.: A New Technique Enables Dynamic Replanning and Rescheduling of Aeromedical Evacuation, *AI Magazine*, pp. 43-53 (1999)
- [Levy 93] Levy, A. Y. and Sagiv, Y.: Exploiting Irrelevance Reasoning to Guide Problem Solving, in *Proc. of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 138-144 (1993)
- [Myers 99] Myers, K. L.: CPEF: A Continuous Planning and Execution Framework, *AI Magazine*, pp. 63-69 (1999)
- [Pollack 99] Pollack, M. E. and Horty, J. F.: There's More to Life Than Making Plans, *AI Magazine*, pp. 71-83 (1999)
- [田所 00a] 田所 諭, 北野宏明, RoboCup-Rescue, Federation, T. R., ロボカップ日本委員会 (編): ロボカップレスキュー—緊急大規模災害救助への挑戦—, 共立出版 (2000)
- [Tadokoro 00b] Tadokoro, S., Kitano, H., Takahashi, T., Noda, I., RoboCup-Rescue Project and et al.: An Approach of AI and Robotics to the Emergency Response Problem in Disaster, in Kitano, H., Tadokoro, S., Fischer, K., and Burt, A. eds., *Workshop Working Notes on RoboCup Rescue (ICMAS-2000 workshop)*, pp. 87-96 (2000)
- [Tambe 95] Tambe, M., Johnson, W. L., Jones, R. M., Koss, F., Laird, J. E., Rosenbloom, P. S. and Schwamb, K.: Intelligent Agents for Interactive Simulation Environments, *AI Magazine*, Vol. 16, No. 1 (1995)
- [Tambe 97] Tambe, M.: Towards Flexible Teamwork, *Journal of Artificial Intelligence Research*, Vol. 7, pp. 83-124 (1997)
- [Tambe 99] Tambe, M. and Jung, H.: The Benefits of Arguing in a Team, *AI Magazine*, pp. 85-92 (1999)
- [Tate 00] Tate, A., Levine, J., Jarvis, P. and Dalton, J.: Using AI Planning Technology for Army Small Unit Operations, in *Artificial Intelligence Planning Systems*, pp. 379-386 (2000)
- [Valente 99] Valente, A., Russ, T., MacGregor, R. and Swartout, W.: Building and (Re) Using an Ontology of Air Campaign Planning, *IEEE Trans. of Intelligent Systems*, pp. 27-36 (1999)

2001年7月12日 受理

—— 著者紹介 ——



野田 五十樹 (正会員)

1992年京都大学大学院工学研究科電気工学第2専攻博士課程修了。博士(工学)。産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター主任研究員。神経回路網によるシンボル・パターン統合処理、学習、マルチエージェントシステム、分散シミュレーションの研究に従事。日本神経回路学会員。RoboCup Federation Simulation League co-chair。