

ワークショップ報告書

2012年度システム科学技術 俯瞰ワークショップ報告書

平成24年10月12日開催



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

エグゼクティブサマリー

独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）は、JSTの研究開発戦略を立案するとともに我が国の研究開発の推進に資することをミッションとして活動を行っている。そのなかでシステム科学ユニットは、現代社会の課題をシステム構築という視点から把握し、諸領域を横断的に統合し、課題解決に結びつけていくための手法や理論を構築する、システム科学技術分野を担当している。

論文数や研究開発投資額や国内外の政策動向などの情報、学会や大学等の研究機関の活動は、これまでの歴史で徐々に形作られてきた分類に沿っているため、システム科学技術というCRDS独自の視点に立った際に、俯瞰的にエビデンスのある動向を抽出するのは非常に難しい。しかし、世界で初めての試みに今年度挑戦しているところである。

本報告書は、国内の関連する分野の有識者を集めて平成24年10月12日に実施した「2012年度システム科学技術俯瞰ワークショップ」の概要についてまとめたものである。

平成21年秋のユニット発足後、システム科学ユニットは、システム科学技術の全体像／定義／実体の明確化、システム科学技術の俯瞰調査、分野の推進戦略や具体的なプロジェクトの提言発行などを行ってきた。本ワークショップでは、これらの3年間の活動内容を振り返りながら、システム科学技術に深い見識をお持ちの先生方をお招きし、システム科学技術に関する俯瞰活動結果の共有と、今後の方向性について議論することを目的として開催した。

システム科学ユニットからは、3年間の活動報告と、システムの社会実装にかかわる様々の困難な課題を解決するためにシステム科学ユニットが提案した「システム構築戦略研究」について説明を行い、議論を行った。また、俯瞰調査の6つの区分の統括責任者より各々調査結果をご報告いただき、35の研究開発領域の現状について情報共有および総合議論を行った。

その結果、システム構築戦略研究、システムイノベーションなどの概念をより豊かな、内容の深いものにする必要がある、いま社会が抱えているシステムの難問を解くためには今回俯瞰した35の研究開発領域が連携してあたねばならない、そのためのファンディングはどうあるべきか、などについて指摘があった。

ある程度のエビデンスに基づいた6カ国間の国際比較を行うため、今回の俯瞰ではややスタティックで基盤的・古典的な領域の切り方となっているが、今後どのようなターゲットを設定して解けば、細分化された領域を融合し、イノベーションを引き起こせるかといった戦略的な議論を、本俯瞰に基づいて次年度以降に行っていく予定である。

目 次

エグゼクティブサマリー

1. はじめに.....	1
2. 俯瞰ワークショップの概要.....	2
2. 1 開催日時・プログラム.....	2
2. 2 参加者一覧.....	3
3. システム科学ユニットからの報告.....	5
3. 1 システム科学ユニットの活動.....	5
3. 2 システム科学技術の現状とシステム構築戦略研究.....	11
4. 俯瞰区分からの報告.....	18
4. 1 システム構築方法論.....	18
4. 2 意思決定とリスクマネジメント.....	22
4. 3 モデリング.....	31
4. 4 制御.....	36
4. 5 最適化.....	39
4. 6 ネットワーク論.....	46
5. 討論の概要.....	51
付録1. CREST EMS 領域の紹介.....	55
付録2. 2012 年研究開発の俯瞰報告書作成の目的と趣旨.....	58
付録3. システム科学技術分野 俯瞰作業の概要.....	59
付録4. 研究開発領域および執筆担当者一覧.....	65

1. はじめに

独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）は、JST の研究開発戦略を立案するとともに我が国の研究開発の推進に資することをミッションとして活動を行っている。そのなかでシステム科学ユニットは、現代社会の課題をシステム構築という視点から把握し、諸領域を横断的に統合し、課題解決に結びつけていくための手法や理論を構築する、システム科学技術分野を担当している。

論文数や研究開発投資額や国内外の政策動向などの情報、学会や大学等の研究機関の活動は、これまでの歴史で徐々に形作られてきた分類に沿っているため、システム科学技術という CRDS 独自の視点に立った際に、俯瞰的にエビデンスのある動向を抽出するのは非常に難しい。しかし、世界で初めての試みに今年度挑戦しているところである。

平成 21 年秋のユニット発足後、システム科学技術の全体像／定義／実体の明確化、システム科学技術の俯瞰調査、分野の推進戦略や具体的なプロジェクトの提言発行などを行ってきた。本ワークショップでは、これらの 3 年間の活動内容を振り返りながら、システム科学技術に深い見識をお持ちの先生方をお招きし、システム科学技術に関する日本の現状の把握・共有と、今後の方向性について議論することを目的として開催した。

2. 俯瞰ワークショップの概要

2. 1 開催日時・プログラム

開催日時：2012年10月12日（金） 10：00～17：30

開催場所：JST 東京本部別館 1階ホール

プログラム：

午前の部 10:00～12:00

10：00～10：10

開催挨拶 木村上席 F（JST/CRDS）

10：10～10：30

ユニットの活動報告 武内 F（JST/CRDS）

10：30～11：00

システム科学技術の現状とシステム構築戦略研究 木村上席 F（JST/CRDS）

11：00～11：15

CREST 領域「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤
技術の創出と融合展開」の紹介 藤田政之 教授（東工大）

11：15～12：00

意見交換

午後の部 13:00～17:30

13：00～13：30

各俯瞰区分からの報告① システム構築方法論 安岡 F・寺野 F（JST/CRDS）

13：30～14：00

各俯瞰区分からの報告② 意志決定とリスクマネジメント
津田博史 教授（同志社大学）

14：00～14：30

各俯瞰区分からの報告③ 最適化 杉原正顕 教授（東大）

14：30～15：00

各俯瞰区分からの報告④ ネットワーク論 増田直紀 准教授（東大）

<休憩 15分>

15：15～15：45

各俯瞰区分からの報告⑤ モデリング 椿広計 副所長（統計数理研究所）

15：45～16：15

各俯瞰区分からの報告⑥ 制御 内田健康 教授（早大）

<休憩 15分>

16：30～17：30

総合討論 司会 豊内 F（JST/CRDS）

2. 2 参加者一覧

招聘指揮者（50音順）

合原一幸	東京大学 生産技術研究所	教授
赤松幹之	(独)産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門	研究部門長
足立修一	慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科	教授
池上敦子	成蹊大学 情報科学科	教授
池田雅夫	大阪大学 大型教育研究プロジェクト支援室	特任教授
石井秀明	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻	准教授
岩橋良雄	日鉄日立システムエンジニアリング (株)	顧問
内田健康	早稲田大学 理工学術院 電気・情報生命工学科	教授
小野田崇	電力中央研究所	領域リーダー
加嶋健司	大阪大学 大学院基礎工学研究科 システム創成専攻	准教授
桂利行	法政大学 理工学部 経営システム工学科	教授
金子修	金沢大学 理工研究域 電子情報学系	准教授
鎌倉稔成	中央大学 理工学部 経営システム工学科	教授
倉橋節也	筑波大学 大学院ビジネス科学研究科	准教授
桑原洋	(株)日立製作所 日立マクセル(株)	名誉顧問 名誉相談役
櫻庭千尋	日本銀行 調査統計局	審議役
杉原正顕	東京大学 大学院情報理工学系研究科 数理情報学専攻	教授
高橋桂子	海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター 複雑性シミュレーション研究グループ	プログラムディレクター
武田晴夫	株式会社日立製作所 研究開発本部	技術戦略室長
田中剛平	東京大学 生産技術研究所	特任准教授
田辺隆人	株式会社数理システム 数理計画部	部長
津田博史	同志社大学 理工学部 数理システム学科	教授
土谷隆	政策研究大学院大学	教授
椿広計	大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所	教授
水流聡子	東京大学 大学院工学系研究科 医療社会システム工学寄附講座	特任教授
中妻照雄	慶應義塾大学 経済学部	教授
滑川徹	慶應義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科	准教授
林高樹	慶應義塾大学 大学院経営管理研究科	教授
藤崎泰正	大阪大学 大学院情報科学研究科	教授
藤田政之	東京工業大学 大学院理工学研究科 機械制御システム専攻	教授
藤澤克樹	中央大学 理工学部 経営システム工学科	教授
船橋誠壽	NPO 法人 横断型基幹科学技術研究団体連合	事務局長・理事
本間弘一	株式会社日立製作所 横浜研究所	
増井利彦	国立環境研究所 社会環境システム研究領域 統合評価研究室	室長

増田直紀	東京大学 大学院情報理工学系研究科	准教授
丸山宏	情報・システム研究機構 統計数理研究所	副所長・教授
室町幸雄	首都大学東京 大学院社会科学系研究科	教授
山本義春	東京大学 大学院教育学研究科	教授
吉田亮	情報・システム研究機構 統計数理研究所 モデリング研究系	准教授
吉岡真治	北海道大学 大学院情報科学研究科 コンピュータサイエンス専攻	准教授

オブザーバ

藤原志保 文部科学省 科学技術・学術政策局 計画官付 計画官補佐

JST/CRDS

木村英紀	システム科学ユニット	上席フェロー
安岡善文	システム科学ユニット	フェロー
寺野隆雄	システム科学ユニット	フェロー
豊内順一	システム科学ユニット	フェロー
金子健司	システム科学ユニット	フェロー
武内里香	システム科学ユニット	フェロー
安藤利夫	企画運営室	室長
藤田健太郎	企画運営室	主査

3. システム科学ユニットからの報告

3. 1 システム科学ユニットの活動

システム科学ユニットは、分野別振興から課題解決型へ、基礎研究を社会的期待につなげる、要素技術を統合するための科学の探索という大きな流れのなかで、2009年の10月にCRDSに設置された。ここでは、3年間の活動の概要を報告する。

CRDSは主として、研究領域・研究課題の推進方策を関連する省庁へ提言をすることをミッションとしている。そのなかでシステム科学ユニットは、①システム科学技術分野の俯瞰と領域俯瞰図の作成、②現代科学技術におけるシステム科学技術の位置付けの明確化、③個別分野とシステム科学技術の協同のあり方やシステム科学の推進方策に関する検討、この3つを活動の柱としてきた。下記にその概略を記す。

- ① システム科学技術分野の俯瞰と領域俯瞰図の作成に関しては、2010年度にシステム制御、モデリング、社会と数理科学の3つの分科会を開催して検討を行い、アウトプットとして2010年度版俯瞰作成報告書を発行している。2011～2012年度にかけては、新たに6つの俯瞰区分を設定し、各々の区分(分科会)ごとに議論と国際比較を行ってきた。全体を見渡した統合議論の場として本俯瞰ワークショップを開催している。
- ② 現代科学技術におけるシステム科学技術の位置付けの明確化に関して、2010年度に、システム科学技術の歴史と役割、日本でどういう課題があるかという内容をまとめた中間報告書を発行した。また、今年度は、システム科学技術は産業競争力とどのようなかわりがあるか、システム化という言葉がどのように捕らえて使われているかという観点で、COCNおよび横幹協議会にご協力いただき、アンケート調査を行っているところである。また適宜テーマを設け、産学の有識者と意見交換会・セミナーも行っている。
- ③ 個別分野とシステム科学技術の協同のあり方やシステム科学の推進方策に関する検討については、①や②での検討をもとに、2010年度に総論的な戦略提言として「システム構築による重要課題の解決にむけて」を刊行した。現在は、この戦略提言の中身をより具体化し、アピール力をより高めるために、システムイノベーションという概念を用いて検討を進めている。総論的ではなく、個別具体的なシステムに関する推進方策の検討としては、医療介護システム、エネルギー管理システム、水循環システム、防災システム、都市インフラシステムなどについて検討してきた。総論的・包括的な検討と具体的なシステムに関する個別の検討に大きく分けることができるが、両方を行き戻りしてフィードバックもかけながら活動を進めているなか、総論の提言が第4期科学技術基本計画にインプットできたこと、再生可能エネルギーと分散制御システムが、今年度の文科省の戦略目標につながったことは、大きな成果の一つである。

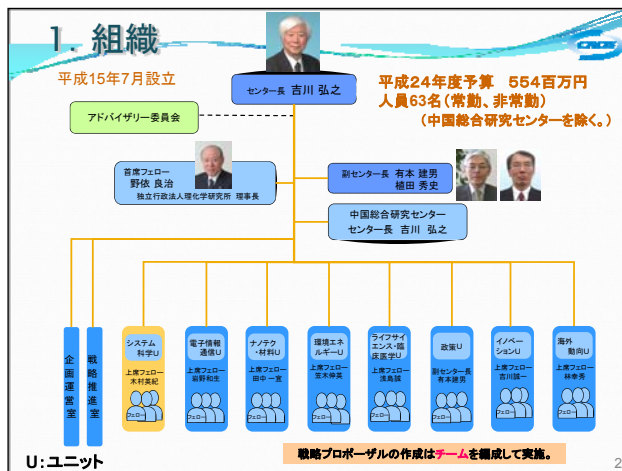
普及・啓発活動としては、小規模のセミナー企画のほか、2012年3月に「システム構築による重要課題の解決に向けて」というタイトルでシンポジウムを企画し、240名ほどの皆様のご参加をいただいた。

これまでの活動にご協力いただいた全ての皆様に感謝申し上げるとともに、ますますのご指導ご鞭撻をお願い申し上げたい。

システム科学ユニット 活動概要報告

木村英紀
安岡善文、寺野隆雄
金子健司、豊内順一、武内里香
前田知子(～2010年度)、森猛(2011年度)
特任F
2010年度 橋広計、倉橋節也、吉岡真治
2011年度 呂肅公郎、前田章
2012年度 本間弘一、津田博史、橋広計、増田直紀 (敬称略)

2012/10/12 システム科学技術俯瞰WS
システム科学ユニット



2. 業務の概要

例)
・太陽光エネルギーの利用拡大基盤技術
・サービスの効率化・高度化に向けた
数値・情報科学に基づく技術基盤の構築

- 国が今後研究投資を行うべき、研究領域、研究課題、その推進方策を関連する省庁へ提言。
(大学等で行われる目的基礎研究が主対象)
- 政策的課題についても、適宜、提言。
(新興・融合分野の推進方策、臨床医学等)
- JSTの事業に限定せずオールジャパンで
- 中立、衡平、公正、エビデンスベースで

システム科学ユニットについて

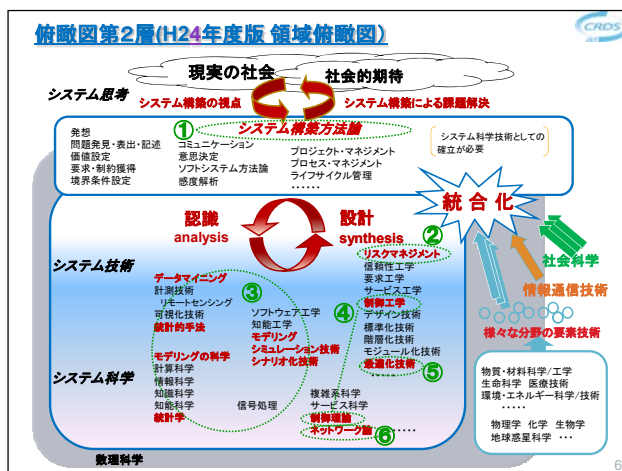
- 2009年10月に新設
 - 背景1 分野別振興から課題解決型へ
 - 背景2 基礎研究を社会的期待につなげる
 - 背景3 要素技術を統合するための科学の探索
- ユニットのミッション
 - システム科学分野の俯瞰(探索と集中)、領域俯瞰図の作成
 - 現代科学技術におけるシステム科学技術の位置付けの明確化
 - 個別分野とシステム科学の協同のあり方やシステム科学の推進方策に関する検討

システム科学分野の俯瞰

※CRDSの俯瞰対象分野

- 環境・エネルギー
- システム科学
- 電子情報通信
- ナノテク・材料
- ライフ・臨床医学

- 2010年度
 - システム制御、モデリング、社会と数理科学分科会による検討
 - システム科学技術俯瞰ワークショップ(2011/1/10)
- 2010年度俯瞰図作成報告書(2011年3月)
システム科学技術の概念
第1層～第3層俯瞰図の作成
- 2012年度
 - システム科学技術俯瞰検討会、5分科会(意思決定とリスクマネジメント、モデリング、制御、最適化、ネットワーク論)による検討
 - システム科学技術俯瞰ワークショップ<本日>
 - 2012年度 科学技術俯瞰報告書(システム科学分野)(2013年3月予定)
俯瞰図の見直し、研究開発領域の設定、国際比較



現代科学技術における位置付けの明確化

- 2010年度
 - 中間報告書「システム科学技術の役割と日本の課題」
- 2012年度
 - システム科学技術と産業競争力
 - COCN、横幹協議会と連携したアンケート調査
 - 産業界有識者との意見交換会(セミナー)
 - システム・イノベーション

7

システム科学の推進方策に関する検討

総論

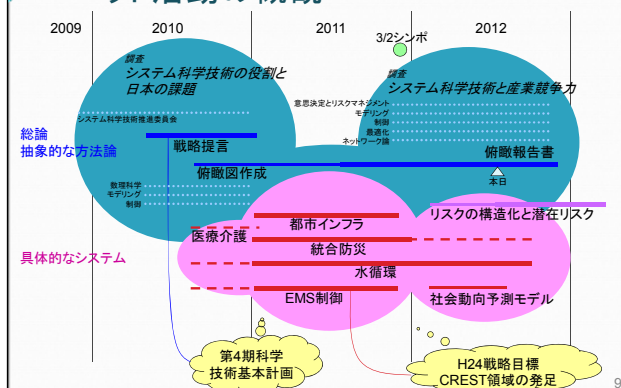
- 戦略提言「システム構築による重要課題の解決にむけて」(2011年3月)

具体的なシステム

- 高齢化社会に対応した医療・介護システム
- 再生可能エネルギーと分散制御システム (WS報告書: 2011年8月)
- 水循環システム (現在プロポーザル作成中: 2013年3月発行予定)
- 統合防災システム
- 戦略プロポーザル「統合サービスシステムとしての都市インフラ構築のための基盤研究」(2012年3月)
- リスクの相互関連の構造化と潜在リスクの発見 (今秋よりプロポーザル作成に着手: 2013年秋発行予定)
- 社会動向予測モデル

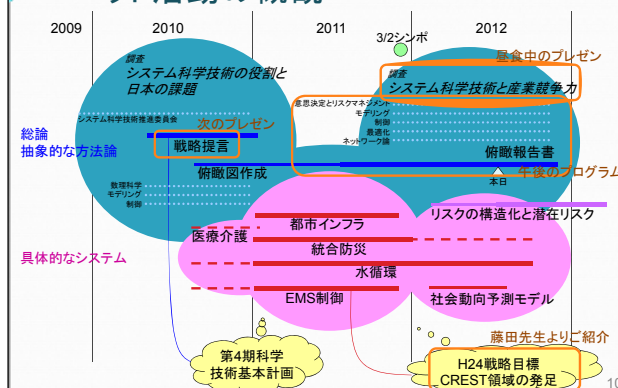
8

ユニット活動の概観



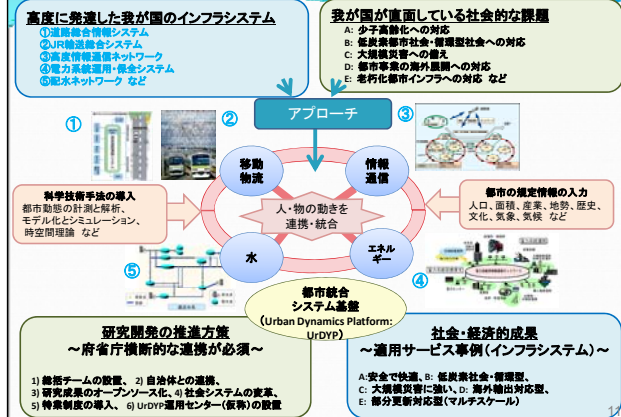
9

ユニット活動の概観



10

戦略プロポーザル「統合サービスシステムとしての都市インフラ構築のための基盤研究」



11

戦略プロポーザル(作成中)

「水処理システムを含めた 統合水循環管理システム構築のための基盤研究」(仮題)

持続可能な地域水循環システム実現に向け、複雑で階層的な問題を解くための、統合的な基盤を構築する

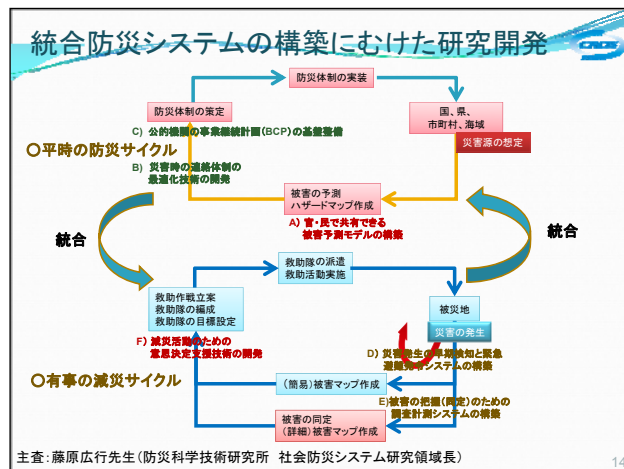
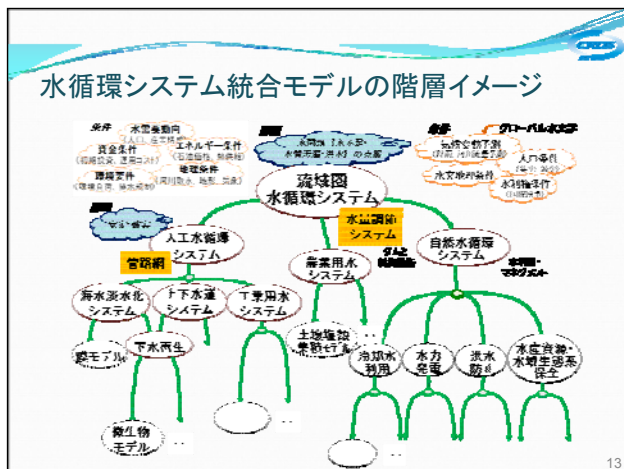
・システム構築戦略研究方法論の適用:

複雑なステークホルダー間の相互影響を考慮した、地域水循環システムを構築し、成果を社会に実装する方策も検討する

それを可能とする「基盤」として、先ず何が必要か?

- ・ 現実の地域水循環システム(自然および社会・経済環境を含む)の総合的把握
- ・ 水処理/管理設備を軸とした「水循環システム統合モデル」
- ・ 地域水循環システムのシミュレーション/最適化技術

12

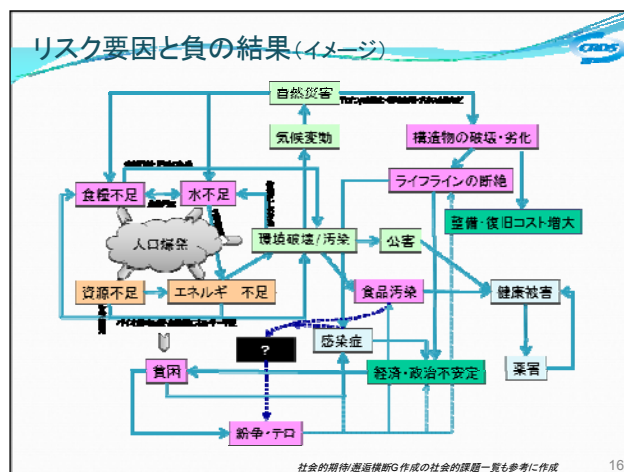


リスクの相互関連の構造化と潜在リスクの発見

(今秋よりプロポーザル作成スタート)

- 現在顕在化しつつあるリスクの間の相互関係を解明し、**リスクの構造化**を行い、リスクの間の相互関係およびその中の増幅ループやトレードオフ関係を把握可能な研究開発
- グローバル化、システム化、市場化、人口増、高齢化などの構造的な因子がいかにリスクの深化に関わっているかが示される。現代社会の脆弱性の根本的な原因を同定することが出来る。
- 新しい潜在リスクの発見にもつながる

15



社会動向予測モデルの構築

- 社会・経済変動を定量的に計測・分析する分野を統合、各分野の長所欠点を補いあう新しい共同研究を通して社会変動予測の新しいモデル構築を目指した研究開発の戦略立案
 - マクロ経済学、金融工学
 - マルチエージェント・シミュレーションやネットワーク論などのシステム科学分野
 - 社会変動論、メディア論など人間行動に関する人文社会科学分野
- 社会動向の具体的な例
 - 累進「税制」
 - 温室効果ガス規制
 - 年金制度
 - 高齢化と生産性
 - 高度先進医療の自由診療・混合診療

主査：櫻庭千尋氏(日本銀行 調査統計局 審議役)

17

成果・アウトリーチ

第4期科学技術基本計画 (p26より)

Ⅲ. 我が国が直面する重要課題への対応

2. 重要課題達成のための施策の推進

(5) 科学技術の共通基盤の充実、強化

我が国及び世界が直面する様々な課題への対応に向けて、科学技術に関する研究開発を効率的、効率的に推進していくためには、複数の領域に横断的に用いられる科学技術の研究開発を推進する必要がある。また、広範囲かつ多様な研究開発に活用される共通の、基礎的な施設や設備について、より一層の充実、強化を図るとともに、相互のネットワーク化を促進していく必要がある。

このため、国として、具体的には以下に掲げる重要課題を設定し、これらに対応した研究開発等の関連施策を重点的に推進する。

1) 領域横断的な科学技術の強化

先端計測及び解析技術等の発展につながるナノテクノロジーや光・量子科学技術、シミュレーションやe-サイエンス等の高度情報通信技術、数理科学、システム科学、生命科学など、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進する。

18

成果・アウトリーチ

平成24年度戦略目標

文部科学省
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

トップ：加藤 弘之（報道局長） 平成23年度の報道局長 平成24年度戦略目標の決定について（科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（新技術シーズ創出））

平成24年2月10日

戦略的創造研究推進事業（新技術シーズ創出）は、社会的・経済的ニーズを踏まえ、国が定めた戦略目標の下、独立行政法人科学技術振興機構（JST）において研究領域を設定し、領域の枠を超えた時限的な研究体制（バーチャルインスティテュート）を構築して、イノベーションにつながる新技術の創出を目指す課題達成型基礎研究を推進する制度で平成14年度に発足いたしました。この度、文部科学省において、平成24年度の戦略目標として、3つの目標を決定しましたので、お知らせいたします。

1. 戦略目標名

○ 再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギーの供給の最適化を可能とする、分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論、数値モデル及び基盤技術の創出

19

成果・アウトリーチ

システム構築による重要課題の解決に向けて

2012年3月2日（金） 13:00-17:15 会場：スクウェア・エニックス 新大阪駅前第4ビル（N4ビル）6F

参加者：約240名の参加

司会：吉川 弘之

中村 道治

相澤 益男

真峯 隆義

吉川 弘之

土屋 定之

プログラム

13:00-13:15 開会式

13:15-13:30 中村 道治 挨拶

13:30-13:45 相澤 益男 挨拶

13:45-14:00 真峯 隆義 挨拶

14:00-14:15 吉川 弘之 挨拶

14:15-14:30 土屋 定之 挨拶

14:30-14:45 中村 道治 挨拶

14:45-15:00 相澤 益男 挨拶

15:00-15:15 真峯 隆義 挨拶

15:15-15:30 吉川 弘之 挨拶

15:30-15:45 土屋 定之 挨拶

15:45-16:00 中村 道治 挨拶

16:00-16:15 相澤 益男 挨拶

16:15-16:30 真峯 隆義 挨拶

16:30-16:45 吉川 弘之 挨拶

16:45-17:00 土屋 定之 挨拶

17:00-17:15 閉会式

20

成果・アウトリーチ

システム構築による重要課題の解決に向けて

2012年3月2日（金） 13:00-17:15 会場：スクウェア・エニックス 新大阪駅前第4ビル（N4ビル）6F

参加者：約240名の参加

司会：吉川 弘之

中村 道治

相澤 益男

真峯 隆義

吉川 弘之

土屋 定之

プログラム

13:00-13:15 開会式

13:15-13:30 中村 道治 挨拶

13:30-13:45 相澤 益男 挨拶

13:45-14:00 真峯 隆義 挨拶

14:00-14:15 吉川 弘之 挨拶

14:15-14:30 土屋 定之 挨拶

14:30-14:45 中村 道治 挨拶

14:45-15:00 相澤 益男 挨拶

15:00-15:15 真峯 隆義 挨拶

15:15-15:30 吉川 弘之 挨拶

15:30-15:45 土屋 定之 挨拶

15:45-16:00 中村 道治 挨拶

16:00-16:15 相澤 益男 挨拶

16:15-16:30 真峯 隆義 挨拶

16:30-16:45 吉川 弘之 挨拶

16:45-17:00 土屋 定之 挨拶

17:00-17:15 閉会式

21

成果・アウトリーチ

2012 IEEE International Systems Conference

2012/3/19 ~ 22, Vancouver

IEEE

IEEE International SYSTEMS CONFERENCE

March 19-22, 2012

Vancouver

Proposal of Strategic Research on Building Systems

Hidekazu Kimura, Junichi Toyonaka, Rika Takeshita, Kouichi Hosuma, Yoshitaka Yasuoka, Takashi Mori

Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency, Chiyoda-ku, Tokyo, JAPAN

Hanno Takeda

Research & Development Group, Honda Ltd., Chiyoda-ku, Tokyo, JAPAN

Abstract: In the age of systems, the innovation sector through building a socio-technological system. Therefore, the need for scientific basis of building sustainable systems and managing them effectively is increasing and urgent. At the same time, the

Now, the word innovation, which was first coined by J. A. Schumpeter [1], became a familiar jargon among policy makers of science and technology. It represents a keen public

22

委員会等にて主に
ご協力いただいた方々

H22年度システム科学技術推進委員会メンバー

（敬称略）

＜産業界＞

岩橋 良雄（日鉄日立システムエンジニアリング株式会社 代表取締役社長）
桑原 洋（（株）日立製作所 特別顧問）
前山 淳次（株式会社 富士通エフサス 顧問）
丸山 宏（キャンノン株式会社 デジタルプラットフォーム開発本部 副本部長）

＜学界＞

赤松 幹之（産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門 研究部門長）
内田 健康（早稲田大学 理工学術院 電気・情報生命工学科 教授）
倉橋 節也（筑波大学大学院ビジネス科学研究科 准教授）
三平 満司（東京工業大学 大学院理工学研究科 機械制御システム専攻 教授）
杉原 正剛（東京大学大学院情報理工学研究科 数理情報学専攻 教授）
津田 博史（同志社大学理工学部 数理システム学 教授）
橋 広計（統計数理研究所・リスク解析戦略研究センター センター長 / CRDS システム科学U特任F）
出口 光一郎（東北大学 大学院情報科学研究科 システム情報科学専攻 教授）
中村 佳正（京都大学大学院 情報科学研究科 教授）
古田 一雄（東京大学 大学院工学系研究科 システム創成学専攻 教授）
安岡 善文（国立環境研究所 理事）
吉岡 真治（北海道大学 情報科学研究科 准教授 / CRDS システム科学U特任F）

＜官＞

市原 健介（日本貿易振興機構 産業技術部長）
板倉 康洋（東京農工大学 学長特任補佐）

24

H22年度 制御システム分科会 メンバー

(敬称略)

■主査 (システム科学技術推進委員会 委員)
内田 健康 早稲田大学理工学部電気工学科 教授

■副主査 (システム科学技術推進委員会 委員)
三平 満司 東京工業大学 大学院理工学研究科 機械制御システム専攻 教授

■委員

原 辰次	東京大学大学院情報理工学系研究科 システム情報学専攻 教授
藤田 政之	東京工業大学大学院理工学研究科 機械制御システム専攻 教授
橋本 秀紀	東京大学大学院工学系研究科 電気工学専攻 准教授
足立 修一	慶應義塾大学理工学部 物理情報工学科 教授
杉江 俊治	京都大学大学院情報学研究所 システム科学専攻 教授
池田 雅夫	大阪大学大学院工学研究科 機械工学専攻 教授
早川 義一	名古屋大学工学研究科 機械工学専攻 教授
三宅 美博	東京工業大学大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 准教授
高橋 桂子	海洋研究開発機構 地球シミュレーションセンター プログラムディレクター
榎本 誠壽	複雑性シミュレーション研究グループ グループリーダー
山本 義春	NPO法人 横断型基幹科学技術研究団体連合 事務局長
	東京大学 大学院教育学研究科 教授

25

H22年度 社会と数理科学分科会 メンバー

(敬称略)

■主査 (システム科学技術推進委員会 委員)
杉原 正顯 東京大学大学院情報理工学系研究科 数理情報学専攻 教授

■副主査 (システム科学技術推進委員会 委員)
中村 佳正 京都大学大学院 情報学研究所 教授

■委員

甘利 俊一	理化学研究所 脳科学総合研究センター脳数理研究チーム チームリーダー
伊藤 聡	株式会社東芝 研究開発センター 先端機能材料ラボラトリー 研究主幹
大石 進一	早稲田大学 理工学術院応用数理学科教授 教授
大庭 昭彦	野村證券金融工学研究センター 主任研究員
岡本 和夫	独立行政法人大学評価・学位授与機構 理事
岡本 龍明	NTT情報流通プラットフォーム研究所 岡本特別研究室 室長
桂 利行	法政大学 理工学部 経営システム工学科 教授
田中 利幸	京都大学大学院情報学研究所システム科学専攻 教授
若山 正人	九州大学大学院数理学研究院 教授

26

H22年度 モデリング分科会 メンバー

(敬称略)

■主査 (システム科学技術推進委員会 委員)
橋広計 統計数理研究所・リスク解析戦略センター センター長

■委員

合原一幸	東京大学生産技術研究所 教授
大澤幸生	東京大学大学院工学系研究科 システム創成学専攻 教授
小野田崇	財団法人電力中央研究所 システム技術研究所 上席研究員
国友直人	東京大学大学院 経済学研究科 教授
倉橋節也	筑波大学大学院 ビジネス科学研究科 准教授
桜庭千雄	日本銀行 調査統計局 審議役
山田雄二	筑波大学大学院 ビジネス科学研究科 経営システム科学専攻 准教授
吉瀬章子	筑波大学システム情報工学研究科 社会システム・マネジメント専攻 教授
水流聡子	東京大学工学系研究科 化学システム工学科 教授
豊田秀樹	早稲田大学文学部 文学研究科 教授
樋口知之	統計数理研究所 モデリング研究系・時空間モデリング部門 教授
丸山宏	元キヤノン株式会社 デジタルプラットフォーム開発本部 副本部長
江守正多	国立環境研究所 地球環境研究センター 温暖化リスク評価研究室 室長
増井利彦	国立環境研究所 社会環境システム研究領域 総合評価研究室 室長
大島明	トヨタ自動車株式会社 理事

27

H23年度 都市インフラシステムの検討

(敬称略)

■リーダー
安岡善文 JST研究開発戦略センター システム科学ユニット フェロー

■特任F
目黒公朗 東京大学生産技術研究所教授

■チームメンバー
前田章 株式会社日立製作所情報システム CTO
本間弘一 株式会社日立製作所社会・システム研究部
勝山光一郎、金子健司、森延、武内里香 JST研究開発戦略センター フェロー

■インタビュー/WS講演等

天野玲子	鹿島建設株式会社 知的財産部 部長
飯野穰	株式会社東芝 スマートコミュニティ事業統括部 主幹
森邦弘	東京ガス株式会社 常勤監査役
山川浩之	東京ガス株式会社 緊急保安部長
大垣真一郎	国立環境研究所 理事長
森口祐一	国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター センター長
天野雄	ITS JAPAN 専務理事
丸山宏	統計数理研究所 副所長
岩崎亮介	東京大学空間情報科学研究センター センター長
原辰次	東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻 教授
古田一雄	東京大学 大学院工学系研究科システム創成学専攻 教授
菅野太朗	東京大学 大学院工学系研究科システム創成学専攻 准教授
山形志樹	国立環境研究所 地球環境研究センター 主席研究員

28

H23年度 統合防災システム検討会 メンバー

(敬称略)

■主査
藤原広行 防災科学技術研究所 社会防災システム研究領域長

■副主査
古田一雄 東京大学大学院工学系研究科 教授

■委員

木村英紀	JST研究開発戦略センター システム科学ユニット 上席フェロー
田中秀幸	東京大学大学院情報学理 教授
出口光一郎	東北大学大学院情報科学研究科 教授
堀宗朗	東京大学地震研究所 教授
目黒公朗	東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター長・教授
矢島敬士	東京電機大学大学院未来科学研究所 教授
安岡善文	JST研究開発戦略センター フェロー

■オブザーバ
文部科学省研究開発局地震・防災研究課

■インタビュー/セミナー講師等

古川勝久	JST社会技術研究開発センター フェロー
吉田真吾	東京大学地震研究所 地震火山噴火予知研究推進センター 教授
加藤孝典	東京都 総務局 総合防災課 防災対策課 係長
三川義彦	東京消防庁 消防技術安全所 消防技術課 課長
中野義彦	防衛省陸上幕僚監部 課長
吉田悠	被災者支援システム全国サポートセンター センター長
青木純一	株式会社日立製作所 ディフェンシシステムズ 主管
齊藤邦男	宮城県 亘理町 町長

29

H23年度 システム構築戦略研究事例検討会 (水循環システム) メンバー

(敬称略)

■主査
武田晴夫 ㈱日立製作所 研究開発本部 技師長

■委員

岩橋良雄	日鉄日立システムエンジニアリング㈱ 代表取締役社長
大澤幸生	東京大学 大学院工学系研究科 教授
加納学	京都大学 大学院工学研究科 准教授
東原俊	東レ㈱ フェロー
田中祐之	東レ㈱ 地球環境研究所 主任研究員
坂井秀之	協和電機工業㈱ 代表取締役社長
三平満司	東京工業大学 大学院理工学研究科 教授
松橋誠壽	横断型基幹科学技術研究団体連合 事務局長
堀井洋一	㈱日立製作所 中央研究所 主任研究員

■アドバイザー
桑原洋 ㈱日立製作所 名誉顧問
木村英紀 JST研究開発戦略センター 上席フェロー

■リーダー
豊内順一 JST研究開発戦略センター システム科学ユニット フェロー

■チームメンバー
本間弘一 JST研究開発戦略センター システム科学ユニット 特任フェロー
金子健司、福田佳乃、増田耕一、山下泉 JST研究開発戦略センター フェロー

30

H24年度 社会動向予測モデル検討会 メンバー

(敬称略)

■主査
櫻庭千尋 日本銀行 調査統計局 審議役

■委員
津田博史 同志社大学 理工学部数理システム学科 教授
林高樹 慶應義塾大学 大学院経営管理研究科 教授
遠藤薫 学習院大学 法学部政治学科 教授
寺野隆雄 東京工業大学 総合理工学研究科 知能システム科学専攻 教授
倉橋節也 筑波大学大学院ビジネス科学研究科 准教授
木村英紀 JST研究開発戦略センター システム科学ユニット 上席フェロー

31

H24年度 潜在リスク発見技術の検討

(敬称略)

■リーダー
木村英紀 JST研究開発戦略センター システム科学ユニット 上席フェロー

■チームメンバー
安岡善文 JST研究開発戦略センター システム科学ユニット フェロー
寺野隆雄 東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授、CRDSフェロー
関根泰 早稲田大学先進理工学部応用化学科 准教授、CRDSフェロー
前田知子、武内里香 JST研究開発戦略センター フェロー

■インタビュー等
橋広計 統計数理学研究所 副所長
古田一雄 東京大学大学院工学系研究科 教授
津本周作 島根大学医学部医学科 医療情報学講座
鷺尾隆 大阪大学産業科学研究所
荒川研一 リソナ銀行リスク統括部
山口裕文 東京農業大学農学部バイオセラピー学科

32

3. 2 システム科学技術の現状とシステム構築戦略研究

JST 研究開発戦略センター
上席フェロー 木村英紀

薄型テレビや半導体を初めとして、製造業絡みでは日本にとって暗いニュースが続いている。また、震災を契機に、技術の社会実装の不備もあらわになった。これらの問題点を何とか克服する道を探る議論が続いているが、概ね「技術は優れているが」、ビジネスモデルが劣った、円高の影響を受けた等々、の分析である。後に続く要因の影響はもちろん否定できないが、対策が打てない環境要因に近い。「日本の技術は強い」という前提が本当なのか、冷静に状況を直視し、有効な対応策を打ち出すことに挑戦すべきである。たとえば、インテルはMPU 戦略というビジネスモデルで成功したといわれているが、ある部品をブラックボックス化してその周囲部品の仕様標準化をするというのは、部品メーカーなら考えることで、そこまで高い戦略性ではないのではないのか。むしろ、特許をみて特許をかいぐくろうとしても追いつけないというインテルの非常に高い技術に勝因があったのではないのか。

日本の技術力劣化が目立ち始めたのは、半導体やロボット、液晶パネルなどの難度の高い先端的なサイエンス型技術の分野である。能力そのものが劣化したのではなく、技術力を支える日本の科学技術文化と現代科学技術の間にギャップが生じているのではないかと考えている。「ものからコトへ、要素からシステムへ、ハードからソフトへ」と、現代科学技術の力点・軸足が移っているのに、日本の科学技術文化がついていけなくなっている。総論としては大分変わってきていると感じるが、実際に具体的な各論の場となると、残念ながら、製品を重視しシステムを軽視する風潮がまだ圧倒的に強い。科学技術文化といっても様々な捉え方があるが、自分は、複数の技術が並んだ際にどの技術を重要視するか決めるための軸足、技術の評価の仕方が技術文化であると考えている。

現代社会はシステムの時代であり、人間は、税制、教育、医療、インフラ、情報サービス等々、様々なシステムを使って生きていると同時に、人間自体がシステムの要素になってい

る。今イノベーションという言葉が重視されているが、現代がシステムの時代であることを考えると、イノベーションは最終的にはシステムを構築することによって達成されることが多い。日本のこれまでの技術文化は、残念ながらシステムを扱うことに長けていないが、システム構築を強く意識することによって、自然とコト、システム、ソフトを重視する技術文化に変わっていくのではないかと期待している。そこで、新しいシステムを構築することによるイノベーション、システムを変革することによるイノベーション、それからシステム危機を克服することによるイノベーション、これらを総称して、「システム・イノベーション」と呼びたい。現代のシステムは、複雑化・広域化・社会化が加速し、システムを解析・設計するための科学技術が追いつかず、システムをコントロールしきれなくなっている。1960年代末に、コンピュータの急激な高性能化によってコンピュータ上のシステムが扱う問題が益々複雑化し、未発達であったソフトウェア工学でプログラミングに対応しきれなくなった時期があり、「ソフトウェア危機」という言葉が叫ばれたが、今はそれに比すべき「システム危機」に直面していることを認識せねばならない。自動車のリコールや金融システムの障害、航空機の管制など、薄氷を踏む思いで運営されているシステムは多数ある。システム科学技術は、複雑化への対応はもちろん、部分最適化されたシステムおよびその保有・管理者間の価値観の違いと利害関係の矛盾を全体最適の視点から乗り越えること、技術の進化や人間・社会の価値観の変化の将来予測といった大きな課題を担っていると考えている。

これらの難問にどのような形でシステム科学技術が切り込んでいくかを検討した結果、「システム構築戦略研究」の概念に到達した。システム構築戦略研究は、システムの社会実装までを確実にやることを前提とし、期待される機能を実現するシステムが本当に構築可能か、技術的な課題だけでなく利害関係者の調整等も含めてどのような課題があるか、コストを含めたシナリオ分析などを、徹底的に洗い出すためのフィージビリティスタディなどからなる。また、未知の課題が生まれればシステム科学技術の新しい課題として提起する、実際にシステム構築が始まった後も、評価や構築計画の修正などを続けることが必要である。これまでの国のプロジェクトは、システムという全体像の中できちんと要素技術を位置付けられないままになんとか開発に着手する、システム実装を謳いつつ論文発表でお茶を濁す、目標の設定が硬直的でプロジェクト開始時の目標のまま突き進み状況変化に対応できないなどの風潮があったが、システム構築戦略研究を行うことにより、改善され则认为。手順としては、課題克服に必要なサブシステムへの分解、システム並びにサブシステムの特性の定量的評価、関連要素技術の評価、シナリオによる予測評価、社会との適合アセスメント等を行うことにより、シナリオ／モデル群の構築と合理的な選択の基盤を与える。それから、実際にシステムを構築する実証事業等に入り、そこで起こってくる結果や状況の変化をフィードバックしながら、柔軟にシステム構築の目的に沿って、プロジェクトの軌道修正につなげていくものである。

システム構築戦略研究は、研究分野ではなく、研究の範疇あるいはスタイルである。水循環システムの構築、エネルギーマネジメントシステムの構築など、空論ではなく、実際にシステム構築を目指すなかで行わなければならない。政策文書のなかで、システム構築が必須のテーマがたくさん掲げられているが、そういったテーマにこのシステム構築戦略研究を実施すべきであると考えている。それにより、システム危機の克服や、システム構築にかかわる様々な暗黙知の形式知への転換などが進むことが期待される。

システム構築戦略研究 ーシステム科学技術とシステム構築を結ぶものー

JST研究開発戦略センター
上席フェロー 木村 英紀

内 容

- 大きく変わりつつある科学技術の位相と日本の製造業の競争力低下
- システム・イノベーションの必要性
- システム構築戦略研究の提案

続く暗いニュース

- 薄型テレビの国際商戦での敗北
- 半導体の斜陽化
- 次世代ロボット開発の失速
- 続くパッケージソフトの空白
- 技術の社会実装の不備
- ...

グローバル市場で大量普及のステージになると 我が国企業が市場撤退への道を歩む



人々の認識は 「技術は優れているが、 ビジネスモデルが劣っていた

- 新しい顧客のニーズを読み誤った
- 人件費の安い新興国の価格攻勢に負けた
- 円高、高い法人税、高い賃金、行き過ぎた環境規制、エネルギー規制、経済提携の遅れなど6重苦によって企業立地条件が悪い
- 経営判断のミスがあった

ので競争力が劣化した。」

「ビジネスモデル戦略論」への疑問

日本が強い「すり合わせ技術」をブラックボックスとし、それを使うためのモジュール技術をオープンにせよ。
妹尾堅一郎「インテルインサイドモデル」

- 疑問1: 特許がある以上技術を完全なブラックボックスとするのは不可能
疑問2: インテルの方式は部品メーカーが普通に考えることである。
疑問3: インテルの方式はインテルの高い技術があって始めて可能であった。
疑問4: 「すり合わせ vs モジュール」の二分法に疑問

すり合わせ技術はどの製品にも必要。高価な製品、ユーザのレベルが高い製品、使う環境が苛酷な製品、ほどすり合わせる必要が増す。いずれにせよ技術のマイナス面である。それがいつの間にかプラスの側面として日本のお家芸になってしまった。

本当に日本の技術は強いのか？

- 技術力が衰えていることを認めるのは心情的に抵抗がある。
- 認めると、自信喪失、士気低下につながるおそれがあることへの配慮。
- しかし状況を冷静に直視することは必要。
- 事態の正確な把握なしに有効な対応策は生まれない
- 「大本営発表」を繰り返してはいけない。

7

主張：日本の技術力は劣化している

- 正確には、技術力を支える日本の**技術文化**と現代技術の間にギャップが生じている。
- ただし、すべての分野の技術が劣化しているわけではない。強い技術、強い業種、強い企業はまだたくさん残っている。
- 科学技術の主戦場である難度の高い先端的な「サイエンス型技術」で劣化が目立つ。

8

変貌する科学技術

ものからコトへ
要素からシステムへ
ハードからソフトへ

もの
要素
ハード

日本の技術文化
が尊重している

コト
システム
ソフト

現代技術が切り開
いて行く方向

9

すでに1993年に二人のアメリカ人が日本のエレクトロニクス産業の技術文化の劣化を指摘

- W.Fainan, J.Fry, 「日本の技術が危ない、検証ハイテク産業の衰退」 生駒ほか訳、日経出版、1993
- 当時すでに計算機はほぼ全分野で海外シェアを喪失、半導体もアメリカの復調とアジアの追い上げで苦境、ソフトは完敗の状況にあったが、エレクトロニクス全体は今よりはるかによかった。
- 当時言われていた資本回収率の悪さ、国内規制、経営判断の誤りなどの一時的な問題ではなく、技術文化そのものに問題があることを指摘
路線を外れないIncrementalな開発
新しい市場には常に2番手で登場
単品重視 システム軽視(不得手)
残念ながらその助言は生かされなかった。

10

内 容

- 大きく変わりつつある科学技術の位相と日本の製造業の競争力低下
- システム・イノベーションの必要性
- システム構築戦略研究の提案

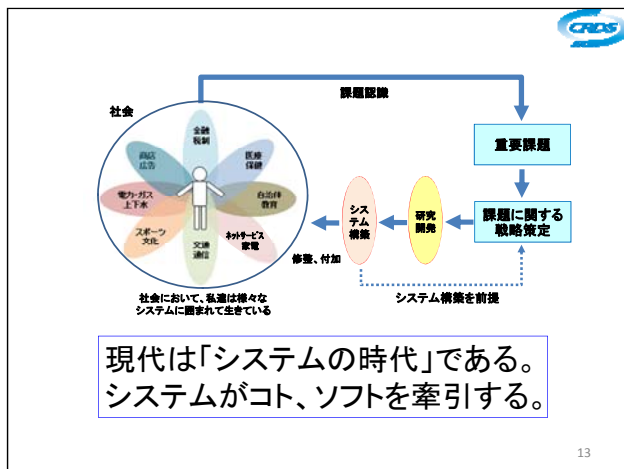
11

「産業構造ビジョン2010」で示された5つの戦略分野(経産省産構審)

- インフラ関連・システム輸出 **システム**
- 文化産業 **コト**
- 環境・エネルギー課題解決産業 **システム**
- 医療・介護・健康・子育てサービス **ソフト**
- 先端分野(ロボット・宇宙など) **システム**

日本の戦略分野の推進そのものが、技術文化の転換を必要としている。技術文化が変わらなければ絵に描いた餅に終わる可能性大。

12



13

イノベーションは
システムを構築することによって
達成される。

新しいシステムを構築することによる
イノベーション

システムを変革することによる
イノベーション

システム危機を克服することによる
イノベーション

システム・イノベーション

14

「システム危機」とは何か？

- 1960年代後半に叫ばれた「ソフトウェア危機」のアナロジー
- ハードウェアの進展についていけなくなったソフトウェア作成手法の素朴さがソフトウェア危機を生んだ。ソフトウェア工学の誕生。
- 複雑化、広域化、社会化しつつあるシステムについていけなくなったシステム科学技術

15

【部品数の増大】

	部品数
自動車	25, 000
ジャンボ旅客機	250, 000
スペースシャトル	2, 500, 000

【半導体集積度】

プロセッサ	バイト数
1990	1MB
2000	10MB
2010	100MB

値段一定

【ソフトの規模】

	行数
DVD	100万
カーナビ	300万～ 500万
携帯電話	500万～1000万
自動車(レクサス)	1000万
銀行勘定系	1000万～

16

システムの社会実装の難しさ

- 異種の技術の統合
例 ITS : 交通・情報通信・エネルギー
- 利害関係者の間の相克
高速道路の渋滞解消は一般道路の混雑 を引き起こす
- 状況の時間変動
技術の進歩、人々の価値観の変化を予測することは至難である。

17

これまでのFunding の問題点

- 要素技術を確立しておけばいつか役に立つという「彼岸主義」
- システム構築を目標に掲げつつもPIの力量不足から要素技術の集積で終わってしまう
- システム実装を目指しつつも、論文執筆を重視してしまう「論文中心文化」
- 「お金をもらったらこっちのもの、何に使おうとこちら勝手だ」と嘯く持ち逃げ研究者の存在
- 地道な実用化研究を支える組織も資金もない現状

18

内容

- 大きく変わりつつある科学技術の位相と日本の製造業の競争力低下
- システム・イノベーションの必要性
- システム構築戦略研究の提案

19

システム構築戦略研究の目的

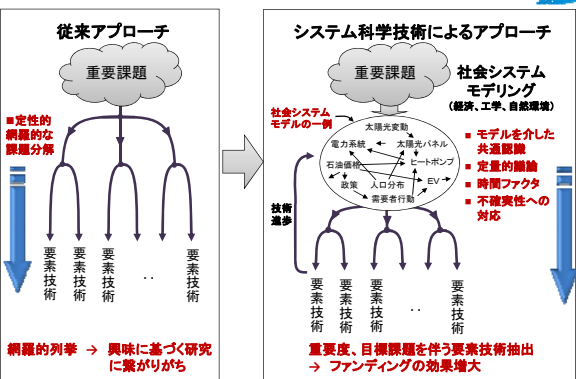
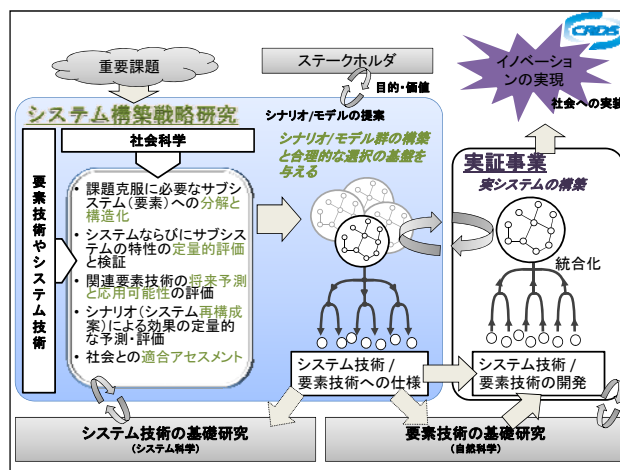
- システムの社会実装まで確実にやることを前提とした詳細なFeasibility Studyである。実証研究を含む
- 望ましい機能をもつシステムが本当に出来ることを、利害関係者の調整までを含めて確認する。
- 不確かさの算定、コストの上限を含めて徹底したシナリオ分析を行う。十分な成算がなければ計画は行わない。
- 未知の課題が生まれれば、システム科学技術の新しい課題として提起する。
- システムが実際に構築された後も評価を続ける

20

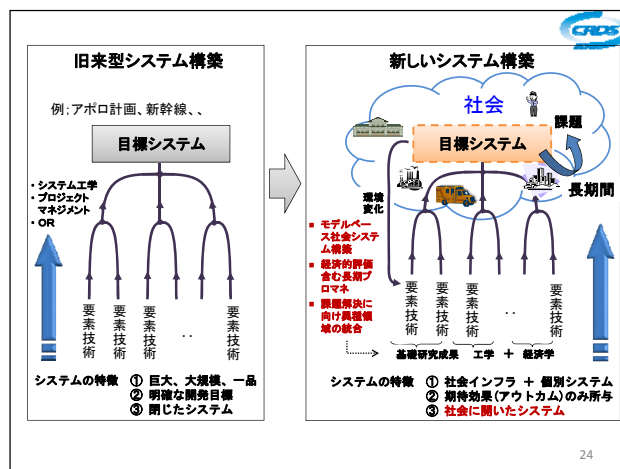
システム構築戦略研究の手順

- Target Determination
- Boundary Condition Determination
- Structural Design
- Recruiting Necessary and Sufficient Technologies
- Modeling --- Integration of Different Disciplines
- Simulations and Scenario Analysis
- Evaluation Mode

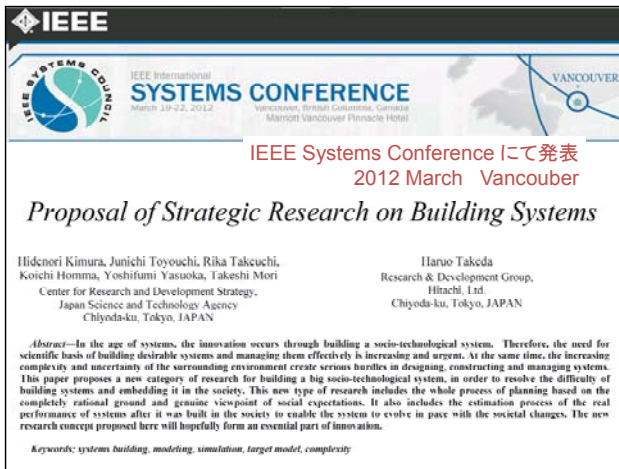
21



23



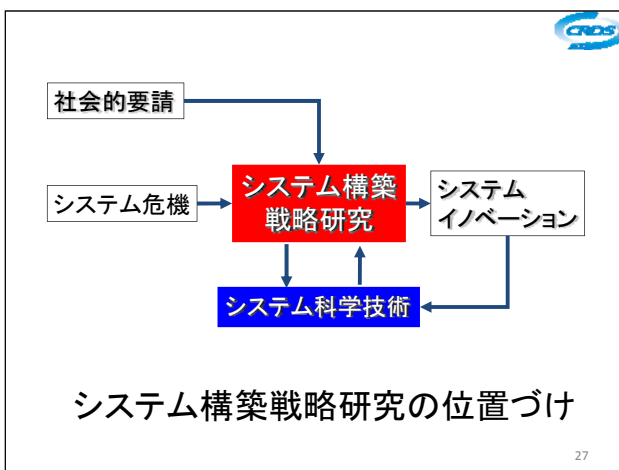
24



システム構築戦略研究の位置づけ

- システム構築戦略研究は研究の分野ではなく研究の「範疇」である。あるいは「スタイル」と言ってもよい。
- 社会と接点の広いシステム構築を目指すすべてのプロジェクトにこの研究を義務づける。
- システム構築戦略研究は具体的なシステム構築の中で行うのが原則。システム危機をシステム構築を通して克服する中で、多くの課題が生まれる。
- システム構築戦略研究を通してシステム構築にかかわるさまざまな暗黙知が見つげ出され、形式知に転換されるきっかけを得る。
- システム構築戦略研究はシステム科学技術がさらに発展し豊かになるための先端部分を担う。

26



27

4. 俯瞰区分からの報告

4. 1 システム構築方法論

JST 研究開発戦略センター

フェロー 安岡善文

フェロー 寺野隆雄

第1層は、諸分野の中でのシステム科学技術全体の位置付を示した。横軸として、対象の複雑性をとっているのが大きなポイントである。システム科学技術の分野が、他分野と比べて大きいとか小さいとかいうことではなく、対象とするシステム、その中の要素が非常に複雑になる、多様になる、変数が多くなってきている今、システム科学技術の役割が重要になってきているということを示している。そういう意味で、数学、哲学から数理科学、システム科学という流れを中央に記している。

第2層では、システム科学技術自体について整理をしたものである。上に社会をおき、下のほうにシステム技術、システム科学をおいている。そのなかに、モデリング、リスクマネジメント、制御、ネットワーク、最適化の5つの俯瞰区分を各論として、今年度は設定している。システム構築方法論は、現実の社会の問題をその下のシステム科学技術の手法に落とし込むためにどういうことをしなければいけないか、という視点で枠を設け、いろいろな要素を入れている。下に示したシステム科学技術の箱のように、方法論として確立していない、もしくは体系化されていないため、今後さらに深めて下の箱に落とし込んでいく必要があるカテゴリである。したがって、細かい研究開発領域を設定し、第3章において国際比較をするということとはせず、2章においてその存在を明らかにするだけに留めている。

システム構築方法論は、3つのカテゴリに分けて整理している。1つは、システム科学技術を実社会の問題との間をつなぐ方法論。システム構築方法論と言うとここがすぐに頭に浮かぶが、これだけではなく、ほかに2つのカテゴリを考えている。2つ目は、システム科学技術の方法論として開発されてきているが、下に記したシステム科学技術と同列に語れるほどには、方法論として確立していない、体系化されていない方法論。3つ目は、システム科学技術以外の分野で確立しているが、どういう位置づけでシステム科学技術として（システム構築の視点から）捉えていけるか明確でない方法論。例えば、複雑系の理論やゲームの理論などである。1年目である今回の俯瞰では、1つ目と2つ目を中心に考え、3つ目のカテゴリは次年度以降に検討することとしている。

現実の社会とシステム科学技術をつなぐやり方として、認識と設計の2つをここでは定義している。認識は、社会の問題をシステム科学技術に落とし込むためにどういうことが必要となるかということで、例えば、発想法、問題の発見・表出・記述の方法、それからその課題をどういう境界条件のもとでやるかなどに関して、いろいろな方法論がこれまでに提案されてきている。設計は、科学技術を社会にシステムとして実装する際にどのようなことをやらなくてはならないかということで、例えば、コミュニケーション、意思決定、感度解析、ライフサイクル管理など、運用の部分も含めてさまざまな手法がある。設計で中心的な役割を果たす設計学という分野がある。また、創薬や新素材の創出には、多くの場合は探索手法

であるが、いろいろな設計に関する方法論が使われている。これらは、まだ方法論が確立していないということで、今回は俯瞰の対象としていない。

システム構築の対象とするところは、自然、人工物、人間・社会の大きく3つに分けて考えている。例えば、人間・社会の中のシステムとして、環境税のシステムをどうやって導入していけばよいか。自然のシステムとして、IPCCでも随分触れられている地球変動予測をどうするか。それから、人工物のシステムとして、太陽電池のための新素材をいかに開発するか。また、自然、人工物、人間・社会が複雑に絡みあった境界部分には、CO₂をどうやって25%削減していくか、太陽電池をどうやって普及させていくかなどがある。何を対象とするかによって方法論が異なってくるのが悩ましく難しいところで、特に境界部分のテーマは、両方の側面から問題を解き起こしていかなければならない。

システム構築は、計測に始まり、モデル化、シミュレーション、それから最適化・効率化からリンクして目的が設定され、最後に制御・管理という流れになる。システム科学技術は、モデル化、シミュレーションや最適化・効率化、制御などを、モデル空間で行うところに1つの特徴がある。これらの流れを「一貫して」やるということが非常に重要である。現れた効果を評価し、前にフィードバックし、このループを閉じて初めてシステム構築が達成される。要素だけでやろうとしてしても問題は解決できないので、このループを回していこうというのが、1つの大きな流れであると考えている。

システム構築方法論は、システムを要素に分解して、要素の機能とそのつながりをシステムとして全体を認識する作業と設計する作業とを、ぐるぐる回しながら進める点が1つの特徴である。そのためにどういう方法論があり、どういう風に使っていけばよいかという点を詰め、それに資する方法論を出す部分であると言える。

システム開発の方法論として、ソフトウェアシステム開発の方法論が非常によく整備されてきているが、その中で、仕様決定の難しさや要求仕様が変更される難しさが課題となっている。仕様決定の難しさに対しては、形式的に仕様を記述する技術が理論的には非常に進歩してきている。一方でそういうことをやろうとすると、プログラムが止まるか否かという計算不能な問題がでてくる。形式的仕様技術と計算可能性の壁などが、システムの仕様をきちんとつくる上での難しさである。要求仕様が変更される難しさのほうは、どんどん変化する世の中にソフトウェアを対応させていくことが課題となる。そのために、プロトタイピングやアジャイル開発などの手法が出てきている。

Checklandは、システム開発者が対象としているようなシステムをハードシステムと呼び、ハードシステムには、対象システムの構造を深く理解し、対象を客観的に把握した上で厳密な解決策を提供するアプローチがとられているとしている。それに対してソフトシステムというのは、構造の不明確な問題を、主観（設計者自身）を含むような状況のもとで構造化しようとするということで定義している。システム開発に対するこの2つのアプローチの違いは非常に大きい。

社会、自然があって人間が絡んだシステムがあるという複雑な状況の中で、改めてシステム構築を考えていくにあたり、ソフトシステムアプローチのような考え方に返らなければいけないのではないかというような議論が学会等のなかで再び起こっているように感じる。この種のアプローチは非常に柔軟であるが、解釈によってどうにでもなるところが弱点で、批判される部分である。しかし方法論として洗練化し、こういった手法がシステム構築方法論

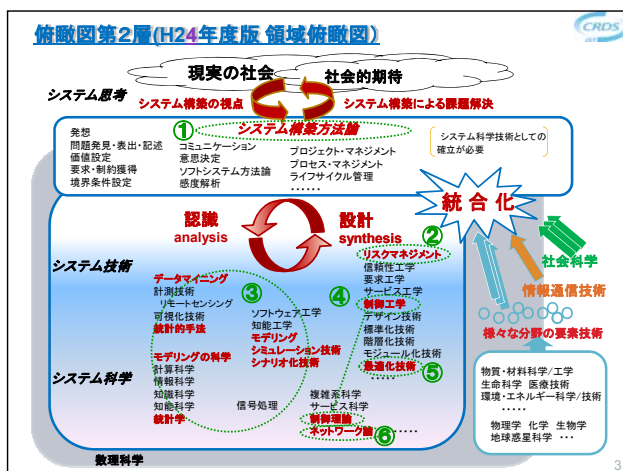
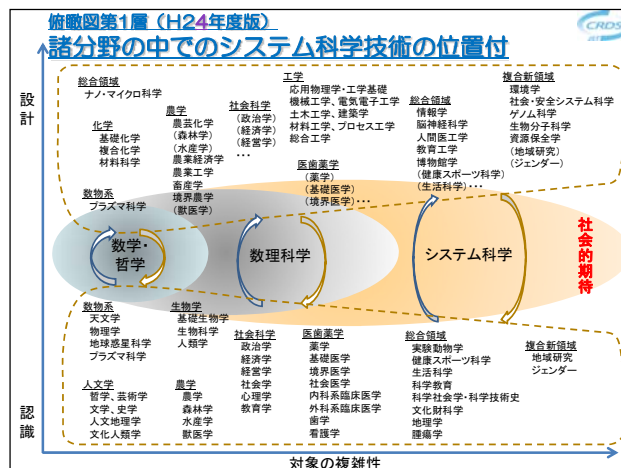
のなかにどんどん蓄積されることで、現代の難しい問題にアプローチできるのではないかと考えている。



システム科学技術俯瞰ワークショップ

システム構築方法論(第2章)

JST/CRDS 安岡善文・寺野隆雄



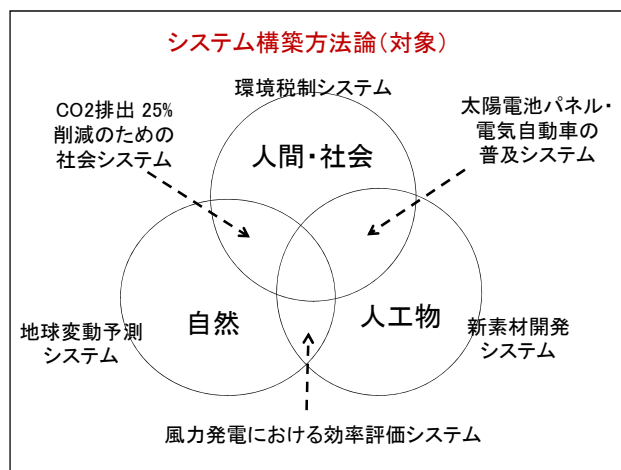
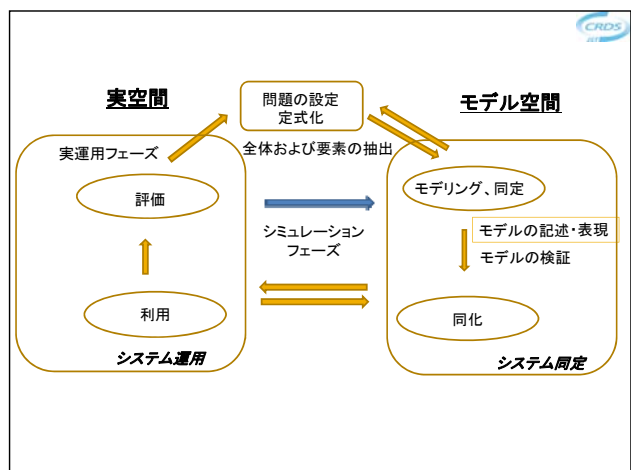
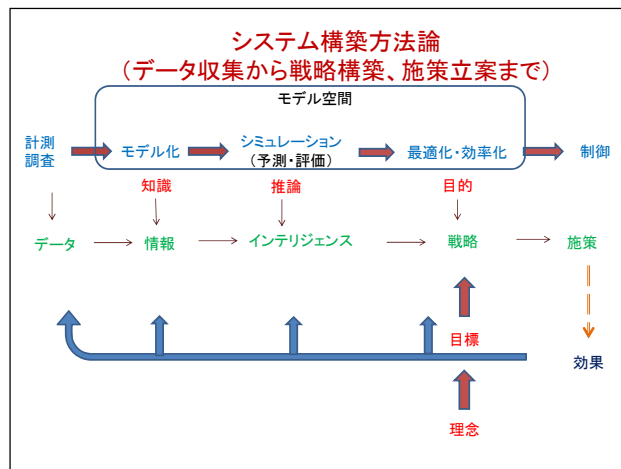
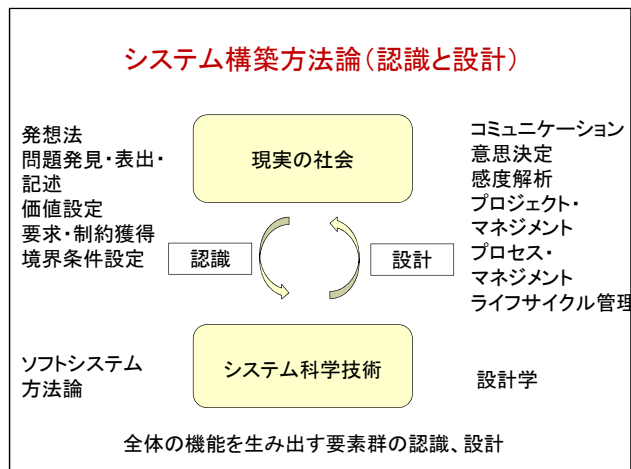
システム構築方法論

1. システム科学技術を実社会の課題におけるシステム構築につなげる際に必要となる方法論

図2.3上段の箱の方法論
2. システム科学技術の方法論として開発されてきたが、まだ方法論としては確立しておらず体系化されていない方法論

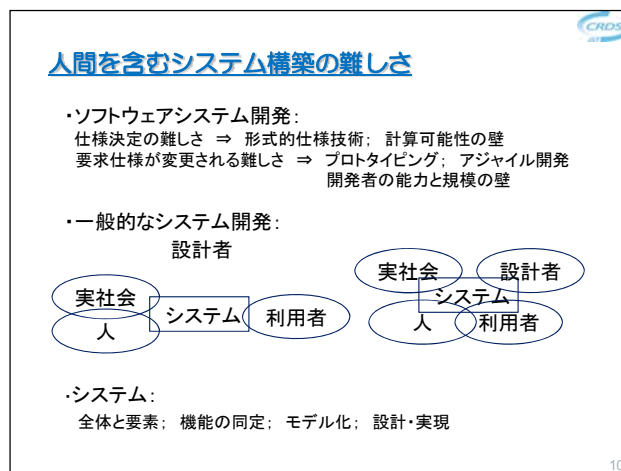
ソフトシステムアプローチなどの方法論
3. システム科学技術以外の分野で確立された方法論であり、システム科学技術の方法論としても期待されているが、まだシステム科学技術としての位置づけが明確になっていない方法論

複雑系理論、ゲーム理論、などの分野で使われる方法論



システム構築方法論に関する参考文献

[寺野寿郎 1985] システム工学入門-あいまい問題への挑戦-. 共立出版, 1985.
 [木嶋恭一 2002] ソフトシステムアプローチ. 社会・経済システム-特集II システム論の新領域-, No.23, pp.51-65, 2002.
 [計測と制御 2007] 特集: システムを考える, システムで考える. 計測と制御, Vol. 46, No. 4, 2007.
 [Akoff, R. L. 1974] Redesigning the Future, John Wiley, 1974.
 [Churchman, W. 1979] The Systems Approach, 2 nd Edition, Dell 1979.
 [Checkland, P. B. 1999] Systems Thinking, Systems Practice. 2 nd Edition, John Wiley, 1999.
 [Meadows, D.H., Randers, J., Meadows, D. 2004] Limits to Growth: The 30-Year Update. Chelsea Green Pub., 2004.
 [Meadows, D.H. 2008] Thinking in Systems a Primer. Chelsea Green Pub., 2008.
 [Williams, B., Hummelbunner, R. 2011] Systems Concepts in Action - A Practitioner's Toolkit. Stanford Business Books, 2011.
 [Holnagel 2012] FRAM: The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-technical Systems. Ashgate Pub Co, 2012.

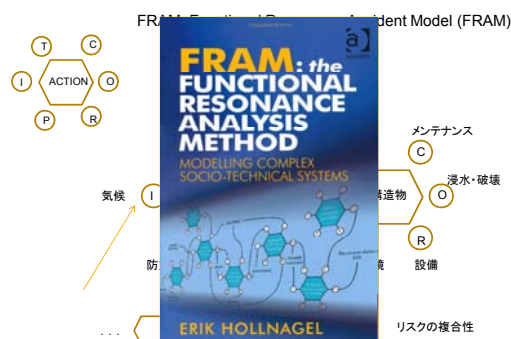


ソフトシステムアプローチ[Checkland]

- ・ハードシステムへの接近:
対象システムの構造を深く理解し、対象を客観的に把握した上で厳密な解決案を提供する
- ・ソフトシステムへの接近:
構造の不明確な主観を含むような問題状況を構造化しようとする。当事者間の提携の形成・合意形成・討議・交渉などを通じて意思決定への関わりを生み出す。
- ・SSM(Soft Systems Methodology):
ChecklandによるSSA

11

FRAM [Hollnagel]



Dirk Helbing, dhelbing@ethz.ch

What FuturiCT Will Do

www.futurict.eu



- FuturiCT will build a **Living Earth Platform** for a global-scale simulation of our techno-socio-economic-environmental system and more
- This will integrate **Crisis Observatories** running massive data mining for the advance detection of possible crises:
 - financial market instabilities
 - emerging conflicts
 - health risks and disease spreading
 - environmental changes, etc.
- **Participatory Platforms** will inform decision-makers and involve citizens
- The **Innovation Accelerator** will speed up research, development, and the creation of new business opportunities.
- The focus on **Managing Complexity** will develop integrative system designs and new decision-making and governance tools.

© FuturiCT, a multi-partner European Flagship Pilot Project, www.futurict.eu

4. 2 意思決定とリスクマネジメント

同志社大学理工学部
教授 津田博史

「意思決定とリスクマネジメント」は、システム科学技術の応用・実装のフィールドとして捕らえて設定している。意思決定は非常に広い領域であるため、その中でリスクマネジメントとの兼ね合いでかわる部分、さらにリスクマネジメント自体もまたかなり広い領域であるため、経済、金融、公共、経営など社会科学分野に絡む部分に今回は着目している。システム科学としては新しい試みだと考えている。

研究開発領域としては、意思決定、リスク概念と尺度、統合・複合・その他リスク、市場リスク、信用リスク、リスクマネジメントの数値計算の6つである。

(6 研究開発領域の個別説明：スライドを参照)

<質疑>

Q. 社会学系のエスノメソドロジーやアクション・リサーチなども俯瞰のなかに含めているか？（赤松）

A. 視野には含めているが、研究課題としてはこれから（津田）。

Q. アメリカではリスクマネジメントが進んでいるという評価だが、それでも大きな問題が起こるのは、何が足りないと解釈できるか（赤松）。

A. サブプライムローン問題は、アメリカとしてかなり優秀な人材を投入し、かなりリスクヘッジした上でも起こってしまった。限界があったということと。また、最終的には危ない商品だということを認識しつつ投資家に反応したというのは、倫理的な問題面も当然あったと思う。ただ、事象面で実際問題だったのは、サブプライムローンを裏付けとした債務担保証券（CDO）で、CDO が膨大になり、アメリカの土地価格が下がり始めた結果、破綻が連鎖していった。商品設計としては、設計者はかなりリスクヘッジしていたが、やはりちょっと行き過ぎたといえる。

正確な数字ではないが、リーマンショックの直前の 2008 年 6 月には、信用リスクをベースとしたデリバティブの想定元本は、1 ドル 80 円で大体 5,000 兆円あったと言われている。それが仮に 3 分の 1 破綻したとしても膨大で、アメリカだけのみならず、全世界的に大変なことになった。日本の国債の残高は 1,000 兆円あり、日本もソブリンリスクが他人事ではない。関連学会でも日本国債のリスクが注目されてきており、どうシステム化・最適化していくかという課題は非常に重要である（津田）。

Q. 投資をする側は、良いアルゴリズムを開発した企業を見つけて投資するということになるのか？（内田）

A. どういうアルゴリズム・手法を使っているかは、企業の機密で外からはわからない。アルゴリズム取引の結果としてパフォーマンスがあがっているところを投資家が判断して、ファンドを買うという状況になる。

Q. システムということには皆さん触れられるが、モデルということにはほとんど触れられておらず、非常に違和感がある。モデルがないシステムというのはない。モデルとシステムをどういうふうに関連づけているか、そういうところがもっと議論されてもいいのではないか。

例えば、高度な数学を使っていれば高度なモデルであるといふ学者は考えてしまいがちだが、そうではなく、簡単な数理であっても現実・システムをきちんと説明できるなど、そういう点が押さえられているのが高度なモデルである。

また、人間はモデルをマニピュレートしているとずっと考えてきたと思うが、金融などの分野では、モデルに人間がマニピュレートされているのではないか（土谷）。

A. やはり実際にきちんとワークするモデルが一番いい。また、使用しているリスク尺度やモデル自体もリスクを抱えているのではないかということで、近年モデルリスク自体もリスク対象として挙がり重要視されてきている。サブプライムローン問題も、ある意味ではリスク評価が甘かった。ご指摘のとおりだと思う（津田）。

システム科学技術俯瞰ワークショップ資料

意思決定とリスクマネジメント

2012年10月12日
同志社大学理工学部
数理システム学科
津田博史

＜②意思決定とリスクマネジメント＞

ビッグデータ・高速コンピューティング・大規模実験

④リスクマネジメントの数値計算
バーチャルリアリティ・シミュレーション・マルチメディア・並列アルゴリズム
ベイズ理論・MCMC・多変量解析・線形計画法・カルマンフィルタ・粒子フィルタ

④市場リスク
市場リスク・市場構造
平均・分散モデル
ダウンサイドリスク
モデル
確率ボラティリティ
モデル
マルチファクターモデル
流動性リスク

⑤信用リスク
判別分析
一般化線形モデル
スコアリングモデル
確率選択モデル
構造モデル
ハザードモデル
格付推移モデル
コプula・極値理論
極値モデル
CVA

③統合・複合・その他リスク
リスク構造
リスクモデリング
金融リスク
《市場・流動性・信用・オペレーション》
経営・事業リスク
資産運用・年金リスク
ECN
災害・環境・天候リスク
システムリスク
クラッシュ対応
最適化
2次計画法
線形計画法
非線形計画法
多期最適化法
多目的最適化法
ファジー最適化法
制度設計
生命保険・損害保険

①意思決定
合理的意思決定論
規範的意思決定
期待効用理論
多属性効用理論
統計的意思決定論
意思決定分析
意思決定支援手段
行動意思決定論
記述的意思決定
期待効用アンダー
限定合理性
アロベクト理論
ゲーム理論
リアルオプション

②リスク概念と尺度
リスク尺度理論
リスク感知的価値尺度
ストレステスト
経済資本配賦理論
リスク寄与度

リスクマネジメント

発生頻度×重大度

経済・金融・公共・経営

数理工学
数理科学
計算機・情報科学

実社会における課題
不確実性・複雑性・多岐性
意思決定の課題
意思決定の課題
意思決定の課題
意思決定の課題

意思決定とリスクマネジメント

1. 意思決定
2. リスク概念と尺度
3. 統合・複合・その他リスク
4. 市場リスク
5. 信用リスク
6. リスクマネジメントの数値計算

意思決定とリスクマネジメント

1. 意思決定

- 現在までに、意思決定研究は、経済学、政治学、心理学、哲学、工学、経営学などの多様な学問分野で進められてきています。
- これらの研究は「**意思決定科学**」とも総称されます。
- その多様性ゆえ、各分野に共通の基盤となるような体系が整備され一つの学問分野として確立されているとは言い難い状況です。
- 一方、情報通信技術の飛躍的發展を背景に、金融市場はもとより、経済・社会、産業構造などの変化のスピードが早く、今日「リスク」や「不確実性・曖昧性」が高まっています。
- このような不確実性のある下での意思決定に関する基盤研究の整備、それらを踏まえた、さまざまなリスクをかかえる各応用分野への意思決定支援のための応用研究の発展の重要性は、以前にも増して高まっています。

意思決定とリスクマネジメント

＜意思決定研究＞

アプローチ

- 人・集団はいかに意思決定すべきかに関する「**規範的アプローチ**」
- どのように意思決定しているかに関する「**記述的アプローチ**」
- 現実を知った上でどうすれば改善されるかを提案する「**処方的アプローチ**」

研究の視点

- 個別の意思決定問題の解決を図ったり、過去の具体的意思決定事例を調べる「**意思決定問題**」
- 意思決定プロセスを対象とし共通のパターンやルールを見いだそうとする「**意思決定行為**」
- 意思決定の質の改善を目指す「**意思決定支援**」

5

意思決定とリスクマネジメント

＜国外の動向＞

- 意思決定研究は、理論研究、応用研究ともに米国が世界を主導しています。
- 意思決定科学のリサーチセンターとして、カーネギーメロン大学のように、50名以上の研究者を抱える学部横断的研究拠点を誇る大学もあります。
- ペンシルベニア大学ウォートン校やシカゴ大学、コロンビア大学など、ビジネス・スクール内に拠点を設けている大学も多くあります。
- その他、ハーバード大学は行政大学院(Kennedy School)に、ミシガン大学は心理学部に研究グループを置くなど各校のミッションや特色を反映する形で設置されています。

意思決定とリスクマネジメント

<科学技術的・政策的課題>

- 不確実性下の意思決定理論および応用の研究に関する課題の中で、本質的かつ最も重要なものに、**如何に問題のフレームを設定するか**というテーマがあります。
- 意思決定問題の定式化の問題であり、問題・課題をどう見出し、構造化するのか、どのように具体的目標・ゴールを設定し、どう実行可能な選択肢を見い出すか、そして、どのように将来起こり得る選択肢を書き出すかという要素は、意思決定結果の質に根本的影響をもたらします。
- 意思決定の目標やゴールの設定はそれを行う個人や組織の価値観に依存する部分であり、哲学、倫理学なども含めた理論構築、方法論整理が必要です。

意思決定とリスクマネジメント

<科学技術的・政策的課題>

- データからの推定が難しいあるいはデータ入手が不能な事象の確率付与については、意思決定分析において主観確率を意思決定者から効果的に引き出すための抽出法が研究されています。
- しかし、確率付与が特に難しいがインパクトの甚大な「**極低頻度・高インパクト**」の事象に対する対処に関しては有効な方法論を提供していません。
- 集団意思決定のための研究も重要なテーマです。
- 意思決定科学の各分野の研究者を擁した世界に対して情報を発信していく国内研究拠点の設立が強く望まれます。
- 意思決定科学は学際分野であり、理論研究、応用研究を進めるには多様なバックグラウンドを持った研究者の協調が不可欠と思われます。

意思決定とリスクマネジメント

<注目動向>

- ① ビッグデータや高速コンピューティングなど情報通信技術の飛躍的発展を活かした意思決定支援技術の進展
- ② 大規模ネットワーク社会における意思決定理論の展開
- ③ 不確実性の高い(全てのシナリオを予想出来ない状況や、モデルに不確実性のある状況)状況における意思決定理論の構築

意思決定とリスクマネジメント

2. リスク尺度と概念

- リスクのある対象に対して適切な意思決定を行うためには、対象のリスク特性を「**発生頻度**」と「**重大性**」という二軸を中心に、定性的あるいは定量的に表現することが必要となります。
- 特に、金融機関はリスクに対する経済資本の規模・配分法をリスク尺度の数値を利用して策定することが求められており、リスク尺度の改良および効率的な計量法の研究・開発が急務となっています。

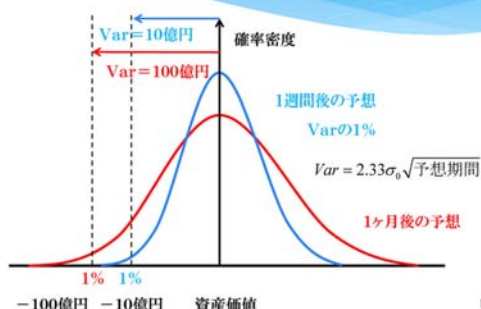
意思決定とリスクマネジメント

<研究開発領域の説明と国内外の動向>

- 伝統的なファイナンス理論では、リスクとは正規分布を仮定した資産変化率の標準偏差とされていました。
- 90年代に金融機関の資産ポートフォリオにおける高損失の可能性を評価するために、**Var(Value at Risk)**と呼ばれるリスク尺度が提唱されました。
- Varは、わかり易く比較的計量もしやすいため、金融機関が標準的なリスク尺度として採用されています。
- しかし、Varは実務的にはしばしばリスクを過小評価してしまう点などいくつかの問題が指摘されてきています。

意思決定とリスクマネジメント

<Var(Value at Risk)の概念>



12

意思決定とリスクマネジメント

<研究開発領域の説明と国内外の動向>

- 金融危機以後、より保守的なリスクマネジメントを求められています。
- 金融分野であっても低頻度高損失のリスクを数理モデルに基づいて計量するのは技術的に難しく、ストレステストのように恣意性の避けられない方法でのリスク計測への対応も迫られている現状です。

意思決定とリスクマネジメント

<科学技術的・政策的課題>

- リスク尺度を実際に活用することを意図した場合に、
 - ① どのように活用すべきか
 - ② どのリスク尺度を選択すべきか
 - ③ どのように算出すべきか
 といった問題に対して具体的な解決を図る必要があります。
- リスク尺度の活用法としては、
 - ① リスクを客観的に把握できるように監督官庁が規制目的で導入
 - ② 銀行や企業がリスク管理目的もしくは経営効率化のための経済資本配賦の意思決定の目的
 で導入したりすることが想定されます。

意思決定とリスクマネジメント

<科学技術的・政策的課題>

- 技術的にはリスク尺度とその活用法を選択しても、実際に信頼のある数値としてリスク尺度の値を算出できなければ意味がありません。
- 過去の観測データから統計的にリスクを推定する場合、実際には統計的議論に耐えうるだけのデータの質・量を確保することが難しかったり、リスク尺度に関連する各モデルが不完全であったり、採用する算出方法のパターンも多数あって積極的に特定のものを採用する理由が見いだせなかったり、といった状況です。
- これまでいろいろな方法論が提示されては各銀行や研究機関で試行錯誤がなされました。

意思決定とリスクマネジメント

<注目動向>

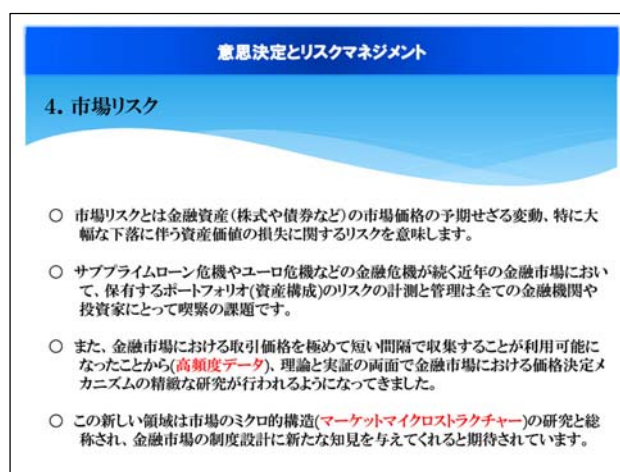
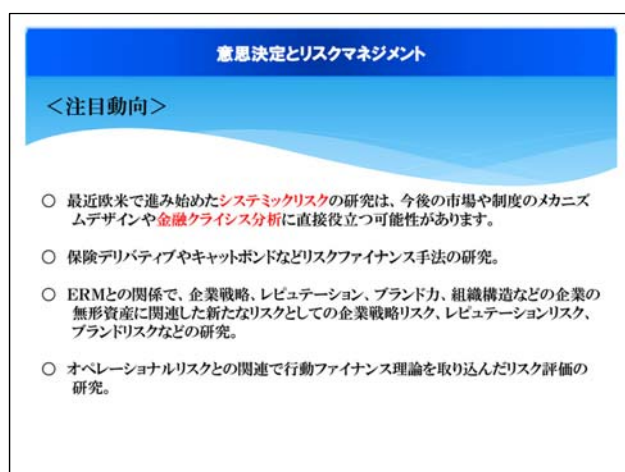
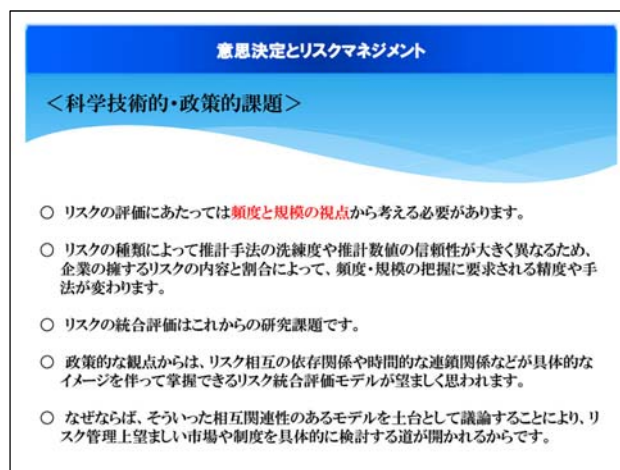
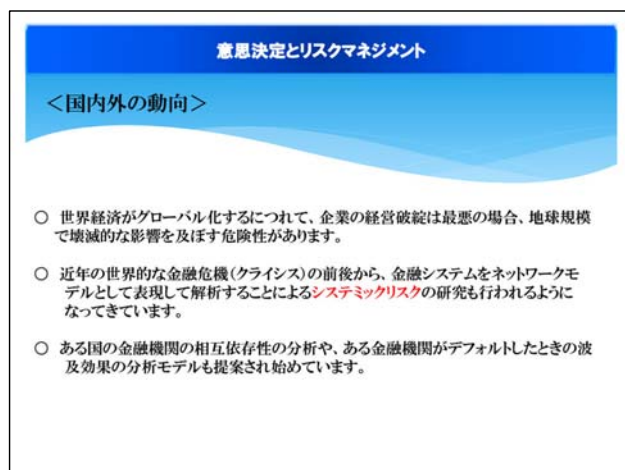
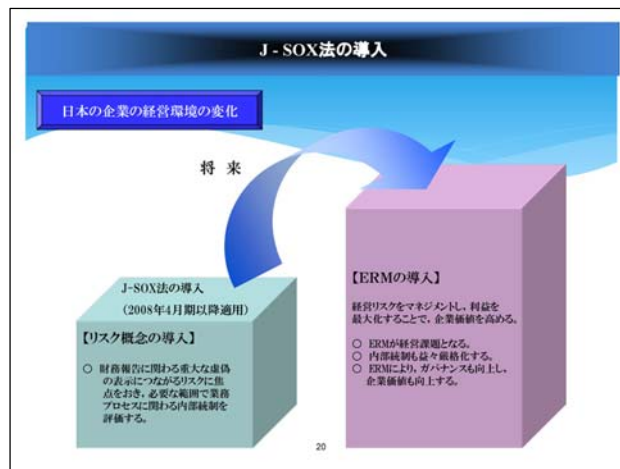
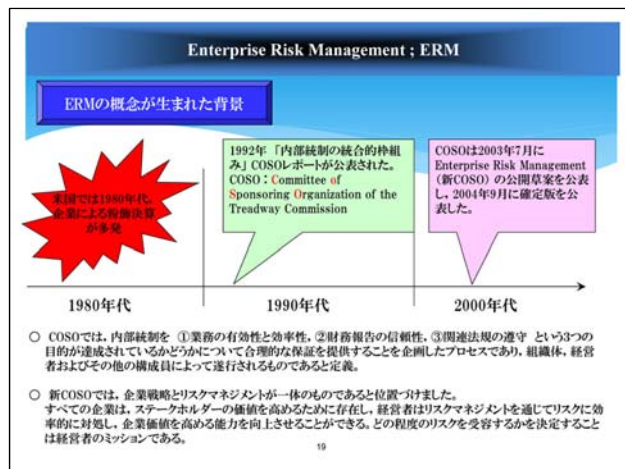
- 2012年5月3日にバーゼル銀行監督委員会が「トレーディング勘定の資本賦課に対する抜本的見直し」という文書を公表しました。
- その中では新しい規制枠組み（バーゼルⅢなどと呼ばれる）導入に向けた市場リスク計測についての見直し提案が記されています。
- リスク尺度およびそれに基づく経済資本配賦のあり方などについては、理論面・実証面のいずれからも議論が再燃する可能性があります。

意思決定とリスクマネジメント

3. 統合・複合・その他リスク

- 金融機関や一般事業会社が抱えているさまざまなリスクを統合的に評価・管理するための研究、あるいは、金融資産ポートフォリオ全体のリスクの計測・管理に関する研究で、ALM (Asset Liability Management) に関する研究まで含めて扱います。
- 多数のリスク間の関連性や、市場リスク、流動性リスク、信用リスク、オペレーショナルリスク、事業リスクなど異種のリスクの統合評価手法や管理手法に関する研究・開発。





意思決定とリスクマネジメント

<研究開発領域の説明と国内外の動向>

- 市場リスクの研究は**ポートフォリオ理論**と密接な関係にあります。
- それは最適なポートフォリオの選択規程が市場リスクの規程そのものになるためです。
- ポートフォリオ理論のアカデミックな研究は、1950年代にマコヴィツの平均分散モデルによって先鞭がつけられました。
- マコヴィツの平均分散モデルでは市場リスクはポートフォリオの価値変動の分散(あるいは標準偏差)で規定されます。
- その後、半世紀を超えるポートフォリオ理論の研究の中で分散に代わる様々なリスク規程が提案されてきました。
- また近年の相次ぐ金融危機の影響もあり、**ダウンサイド・リスク**と呼ばれる価格下落のリスクに関心が集まっています。

意思決定とリスクマネジメント

<科学技術的・政策的課題>

- 金融市場のグローバル化と複雑な金融商品の登場により、金融機関が保有する資産の種類は増大する一方です。
- そのため各資産の価値の変動が企業に与える影響を的確に捉えることはリスク管理の担当者にとってかなり難しい作業となってきました。
- このような状況に対処するため、様々なモデルの高度化が試みられてきています。
- また、過去の金融危機の経験より、リスク回避のため資産を売却あるいは購入しようとしたときに望み通りできない**リスク(流動性リスク)**は、特に深刻な危機の際に顕著になることが知られています。
- 高度なモデルを駆使したリスク管理を現場で活用できる人材は、金融機関においても監督官庁においても絶対数が不足しているのが現状です。

意思決定とリスクマネジメント

<注目動向>

- 多数の資産からなるポートフォリオのリスクを評価するために様々な多変量確率モデルが提案されています。
- 近年、盛んになってきた高頻度**アルゴリズム取引**がマーケットマイクロストラクチャーに与える影響の研究も注目に値します。

意思決定とリスクマネジメント

5. 信用リスク

- 銀行の企業向け融資や企業の発行する社債取引などにおいて懸案となる債務不履行(デフォルト)の確率やデフォルト時の損失額の評価モデルの研究・開発。
- 多様なクレジット・デリバティブの評価モデルの研究・開発。

意思決定とリスクマネジメント

<研究開発領域の説明と国内外の動向>

- 信用リスクとは、お金を借りた側(債務者)が債務不履行(「デフォルト」と表現される)に陥ることによって、お金を貸した側(債権者)は契約通りに貸したお金を返済してもらえずに金銭的損失を被るという可能性を表す概念です。
- 特に、銀行の企業向け貸出についての可否判断や信用力に応じた内部格付の付与などを目的として、企業の財務指標を主たるデータとして、統計学・数理計画等の分野の方法を導入したデフォルト判別分析モデルあるいは格付予測モデルが長きに渡って研究・開発されてきています。
- コンピュータの演算能力の向上に伴い、非常に大きいサイズのデータをもとに、非常に多くの変数を取り込んだモデルの比較・検証なども行われるようになってきています。
- 銀行全体での貸出ポートフォリオの信用リスク評価・管理も、銀行に対する様々な規制への対応上とても重要なテーマです。

意思決定とリスクマネジメント

<研究開発領域の説明と国内外の動向>

- 銀行貸出のように非市場性の金融商品に対して、社債のように信用リスクを含む市場性商品の理論価値評価も重要なテーマです。
- 特に90年代以降、対象債務者のデフォルト発生の有無に応じて支払額が変化する「**クレジット・デリバティブ**」と呼ばれる金融商品の市場での取引量が爆発的に増えてきています。
- さらに、金融危機以降、多くの市場参加者が**カウンターパーティリスク**を主要な信用リスクと考えるようになってきています。
- 近年の欧州危機によって国家の信用リスク(**ソブリンリスク**)も重要な課題です。

意思決定とリスクマネジメント

<科学技術的・政策的課題>

- 銀行の貸出ポートフォリオや債券投資ポートフォリオ、クレジット・デリバティブに関連するポートフォリオや証券化商品のリスク管理に不可欠となる信用リスク依存関係の理論研究および実証研究。
- 質と量ともに確保された低コストのデータベース整備が不可欠です。
- 依存関係のモデル化では理論的に深く追究することと実装における計算効率性のトレードオフの状況が見られます。
- したがって、実務の見地からはある程度強い仮定を要請する必要があり、理論自体を深化する必要があるながらそれが難しい側面があります。

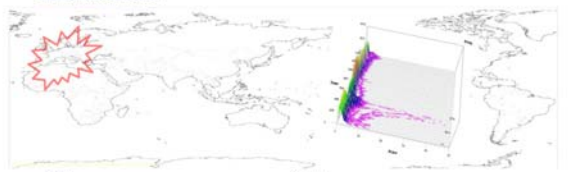
意思決定とリスクマネジメント

<注目動向>

- バゼル銀行監督委員会による新しい規制枠組み（バーゼルⅢなどと呼ばれる）の最終形によって信用リスク研究の潮流も変化することになり、バーゼルⅢの方向性を見極める重要な局面にさしかかっていることは間違いなく、ここしばらくはその動向に注目しておくことは欠かせません。
- ソブリンリスクとしては、欧州危機の問題が注目されます。

欧州危機：ソブリンリスク

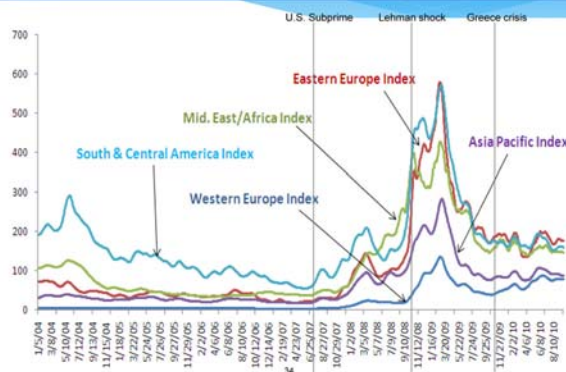
- 欧州の財政危機が懸念されています。
- キリシャ、ポルトガルに加えて イタリア、スペインの国債価格も急落しました。
- 国債を参照するソブリンCDS(Credit Default Swap) 価格には 国債の経済環境に対する信用リスクが反映しています。



Region	Country
Western Europe (13)	Austria, Belgium, Cyprus, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Malta, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, UK
Eastern Europe (16)	Bulgaria, Croatia, Czech Republic, Estonia, Hungary, Kazakhstan, Latvia, Lithuania, Poland, Romania, Russia, Serbia, Slovakia, Slovenia, Turkey, Ukraine
Middle East/Africa (11)	Abu Dhabi, Bahrain, Dubai, Egypt, Iraq, Israel, Lebanon, Qatar, Saudi Arabia, South Africa, Tunisia
Asia Pacific (12)	Australia, China, Hong Kong, Indonesia, Japan, Korea, Malaysia, New Zealand, Pakistan, Thailand, Philippines, Vietnam
South & Central America (9)	Argentina, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador, Mexico, Panama, Peru, Venezuela

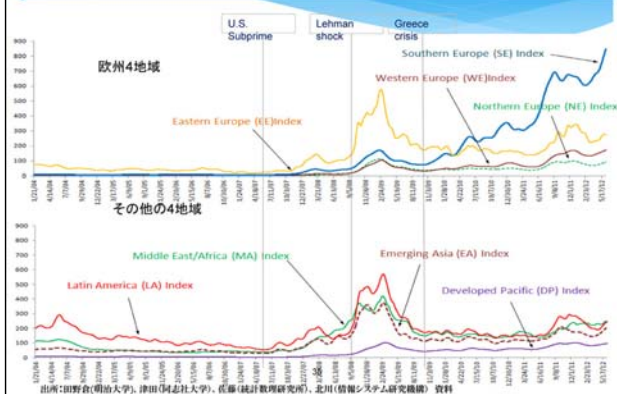
出所：田野倉(明治大学)、津田(同志社大学)、佐藤(統計数理研究所)、北川(情報システム研究機構) 資料

地域ソブリン CDS 指数



出所：田野倉(明治大学)、津田(同志社大学)、佐藤(統計数理研究所)、北川(情報システム研究機構) 資料

8地域ソブリン CDS 指数



出所：田野倉(明治大学)、津田(同志社大学)、佐藤(統計数理研究所)、北川(情報システム研究機構) 資料

意思決定とリスクマネジメント

6. リスクマネジメントの数値計算

- リスクマネジメントにおいて数値計算は、
 - ① 対処すべきリスク事象のモデルの推定と診断
 - ② 推定されたモデルによるリスク事象発生率の予測
 - ③ モデルに基づくリスクの重大性の定量的評価
 - ④ 実行可能なリスク回避策の立案
 などの作業において必要不可欠な役割を果たしています。
- 特に近年のコンピュータ技術の飛躍的進展は、数値計算を集中的に活用するリスク管理手法を実行可能なものとし、この研究領域の学術的研究の進展と研究成果の実務への応用を加速させています。

意思決定とリスクマネジメント

<研究開発領域の説明と国内外の動向>

- 金融機関におけるリスク管理の実務では、自社が抱えるリスクを絶えずモニタリングしていかなければなりません。
- しかし、金融市場のグローバル化による投資先の多様化とデリバティブなどの複雑な金融商品の登場により、金融機関が保有する資産価値の変動を的確にとらえることはリスク管理の担当者にとってますます困難となってきています。
- 資産間の相互の関連性を説明できるような複雑で大規模な時系列モデルの研究が積極的に進められています。
- しかし、モデルの複雑化と大規模化は、モデルのデータに基づく推定と妥当性の評価および将来のリスク事象の予測のための計算負荷を著しく増大させています。
- こうした背景から、効率的な数値計算手法の開発が重要となってきています。

意思決定とリスクマネジメント

<科学技術的・政策的課題>

- 金融機関のリスク管理においても、住宅ローンや個人向け小口融資の貸し倒れリスクや日々の膨大な決済業務におけるオペレーショナルリスクの評価などでビッグデータの活用が重要なテーマとなってくると思われます。
- ビッグデータの計算処理のためには高速かつ大容量のコンピュータシステムが必要不可欠ですが、一握りの大手を除いて中小の金融機関が大規模なシステムを独自に構築・維持していくことは困難と思われます。
- クラウドコンピューティングなどの活用によって比較的安価に高速な計算処理手段を金融機関に提供していくことは重要です。同時にセキュリティ技術の高度化も必要不可欠です。
- さらに効率的な数値計算のアルゴリズムの開発も進めていく必要があります。

意思決定とリスクマネジメント

<注目動向>

- 大規模なデータ解析を行う際にボトルネックとなる逐次計算の限界を超えるため、並列計算を全面的に利用する分散コンピューティングシステムが使われることが多い。
- この分散コンピューティングシステムによる並列計算の新しい潮流として、GPU (Graphics Processing Unit)を使う試みが始まっています。
- ビッグデータを用いたリスク管理にGPUを応用する研究が今後進んでいくことが期待されます。



意思決定とリスクマネジメントの分科会メンバーと担当領域

領域名	お名前	役職	所属
意思決定	林 高樹	教授	慶應義塾大学
リスク概念と尺度	中川秀敏	准教授	一橋大学
統合・複合リスク・その他リスク	室町 幸雄	教授	首都大学東京
市場リスク	津田博史	教授	同志社大学
信用リスク	中妻照雄	教授	慶應義塾大学
リスクマネジメントの数値計算	中川秀敏	准教授	一橋大学
	中妻照雄	教授	慶應義塾大学

4. 3 モデリング

情報・システム研究機構 統計数理研究所
副所長 椿広計

システム科学は、必ずモデルを用いて、社会的期待に応える行動のシナリオ（機能）を実現に資する構造でデザインし、その社会実装を支援するという形になっていると我々は理解している。一方、そのシステム科学の中でモデリング学というものをどのように位置づけるかはなかなか難しいが、モデリングの俯瞰区分では、モデルの開発側の専門家の知と、モデルをどう利用して問題解決していくかという利用側の専門家の知がクロスするように、研究開発課題を設定している。モデルの生成プロセスを研究し、社会によりよいモデルを提供する、そういう視点に焦点を当て、俯瞰を行った。

各分野でさまざまなモデルが使われているが、それらのモデルをどう生成しどう利用するかということに関しては、現状、属人的な暗黙知に依存している部分が非常に多い。しかし、モデルに基づく行動を可能な限り形式知化し、透明性の高い知の実装をモデリング学というものの中で実現していくことを目指すべきであろう。理想的なモデルを簡単につくれるようにするというのではなく、現象や行動のモデル化プロセスに透明性をもたせることにより、モデルが評価され、改良・進化されていく構造を作っていきたいということである。

モデリング学に関しては、平成 22 年度にも分科会を設置して検討してきた。最初の俯瞰図案ではかなり広義にとらえ、価値を実現する、プロセスを設計するために必要な諸々の科学としていたが、今年度俯瞰報告書を執筆するにあたっては、ほかとのオーバーラップ部分を減らし、学術領域としてつかみやすい部分に絞り込んでいる。

社会的な課題を解決しようとする際に非常に難しいのは、それぞれ別の学術領域でつくられた別のモデルを全部統合していくという操作が必ず必要になってくる点である。各分野は固有に持つ演繹的、数理的なモデルの表現に基づいて、表現を選択設計し、それを実際のデータと同化したモデルが研究されているが、多くの場合ある 1 つの現象・システムに関するモデルであるため、現実の課題解決のためには必ず複数のモデルを合成して最適化しなければならない。例えば、放射線の健康影響評価では、放射線物質の放出・拡散のシミュレーションモデル、地表に落ちた放射性物質がどう住環境に移行するかというモデル、放射線物質の摂取量と健康被害に関するドーズ・レスポンス・モデル（Dose Response Model）など、気象学、環境学、医学健康科学等に分かれ、これまで同じ場で議論をしてこなかった学術領域間のモデルを統合しなくてはならない。そういうプロセスを確立することが、ある意味でモデリング学の意義なのだろうと考えている。しかし、それがどれぐらいの経済効果、費用対効果があるかということに関して、合理的な情報収集を行うことはなかなか難しく、そこは研究開発領域の俯瞰と同時に、どういう社会システムが必要か、どこに活かすかという議論が今後必要と感じている。

今年度の俯瞰図では、表現の選択・設計、データとの同化、合成と最適化、妥当性・信頼性評価という一連のモデリングのサイクルで整理し、その中に研究開発領域を設定した。

（6 研究開発領域の個別説明：スライドを参照）

<質疑>

Q. 「モデルの統合に基づくシステム設計とその評価」の部分で、モデル要素を統合して全体のシステムの振る舞いを最適にする設計技術に触れられていたが、これは自動車のように、要素がほぼ全てははっきりしている機械系システムに関してのことか。全然わからない要素が幾つかシステムに入ってきてても可能なのか？（安岡）

A. 車に関しては、力学モデル、電気モデルなどのモジュールを欧州が汎用的に揃えていると聞いている。人間系のシステムは全く別問題であるし、まず不連続と連続のハイブリッドやマルチフィジックスなどに関して、こういう言語の中でどのぐらい反映されているかについてももっとフォローしていかなければならない。まだまだ困難な点があるのであれば、強化していく必要があるだろう（椿）。

A. Henry Markram 教授（Brain Mind Institute, EPFL）が、脳神経科学のいろいろな要素モデルのプラットフォームをつくり、スーパーコンピュータを使って統合しようという構想を、欧州連合（EU）の FuturICT プロジェクトに提案しようとしている。10 年間で予算 1,000 億円の規模。採択されるかわからないが、そういう動きがある（合原）。

Q. 「モデルの正則化・最適化」の部分は、これは要するにモデル構築の方法論と理解した。米国では医療機器などで産業界においても活用されているということだが、医療機器において、分析的にモデルを使うのは容易に想像できるが、構成的にモデルを使うというのはどういうことか（赤松）。

A. 正則化のための LASSO（Least Absolute Shrinkage and Selection Operator）のような技術は、幾つかのパラメータがある中で、どれが製品システムのスタビリティやレベルのようなものにどう影響を与えるかを絞り込む手法として汎用性があり、これまでのモデル選択の方法に比べるとかなり切れ味のいいものになってきている（椿）。

C. 脳の話がでたので、ファンクショナル MRI を一例に出すと、fMRI はノイズの塊で、それを分析処理するのは統計モデルが主流になっている。例えば、SPM（Statistical Parametric Mapping）というフリーソフトが有名で、これはイギリスで開発された。なぜそんなことができるのかといえば、基礎研究の論文を 2 年間公開しないという戦略をとっている。国のレベルでそういう戦略をやっているのではないかと思う。欧州というふうに、まとめて書いてしまうのはあまりよくない。

また、もう 1 つ付け足したいのは、産学官の結びつき方が日本と欧米では異なるので、産業化の評価の部分は、日本と欧米とちょっと別にやらないといけないのではないか。日本では、産学官が真剣に 1 つのテーマに取り組むという形がとれていない、そこが最大の問題だと感じる。真剣に強調しない限り、成果はあげられない（鎌倉）。

各俯瞰報告区分からの報告⑤ 「モデリング」

椿 広計
統計数理研究所
2012年10月12日

モデリング俯瞰作業(H22)

- 平成22年度
 - 平成22年度システム科学技術推進委員会モデリング分科会報告書
 - CRDS-FY2010-WR-20
 - 2010年7月19日から活動
 - モデリング学術領域の確立と研究項目の明確化
 - モデリングの専門家との連携を必須とすべき学術領域の明確化
 - モデリング学術領域の推進に必要な情報基盤整備
- 平成22年度分科会委員
 - 橋 広計(統計数理研)
 - 合原一幸(東大生産研)
 - 江守正多(環境研)
 - 大澤幸生(東大工学)
 - 太田明(トヨタ自動車)
 - 小野田崇(電力中研)
 - 国友直人(東大経済)
 - 倉橋節也(筑波大ビジネス)
 - 櫻庭千尋(日銀)
 - 水瀧聡子(東大工学)
 - 豊田秀樹(早稲田大学)
 - 樋口知之(統計数理研)
 - 増井利彦(環境研)
 - 丸山宏(キャンノ:当時)
 - 山田雄二(筑波大ビジネス)
 - 吉瀬章子(筑波大システム情報)
- 平成24年度
 - モデリング領域の一層の絞り込み
 - H22年度分科会委員(下線)ないしは委員(イタリック)から推薦されたエキスパートに主要研究項目の執筆と俯瞰
 - 2側面からの記述
 - モデル開発の専門家の知
 - モデル利用の専門家の知

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

モデリング学術領域

- モデリング学からみたシステム科学
 - モデルを用いて「社会的期待に応える行動のシナリオ(機能)」をデザインし、その社会実装を支援する学術
- システム科学の中のモデリング学
 - 社会的期待に応えるためのシナリオやアクティビティのデザイン・実現に資する「モデル(構造)」の生成プロセス、すなわちモデリングプロセスを研究し、よりよいモデルを提供するための学術
- モデリング学の社会的意義
 - 現状
 - 学術的問題解決プロセスの成否が極めて個人的な暗黙知やリーダーシップの中で決まってきた
 - 目指すところ
 - Model Based Research and Development
 - モデルに基づく行動を可能な限り形式知化し、透明性の高い「プロセス」知の実装を容易度の高い社会問題解決に要請

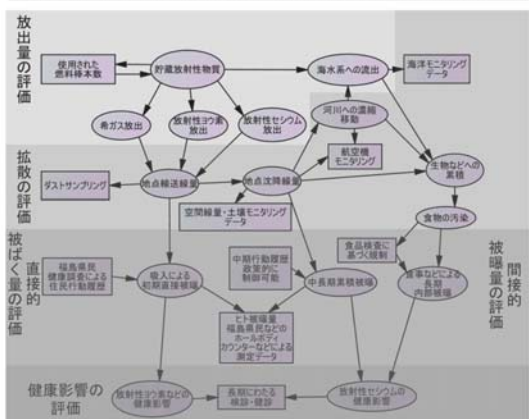
2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

- 広義モデリング学
 - 一連のモデルに基づいてデザインされた、価値を実現する「プロセス(一連の行動)」を設計するための科学
- 狭義モデリング学と平成22年度俯瞰
 - モデリングプロセス学
 - 価値実現のために一連のモデルを設計・構築する一連の行動を研究する学術

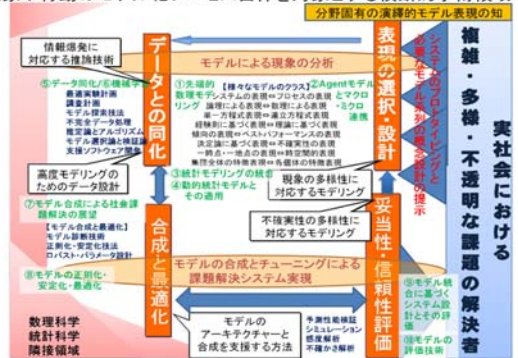


分断されている専門的研究の知の統合に資する枠組み研究領域



俯瞰図第3層 モデリング

現象や行動のモデル化プロセス自体を対象とする横断的学術領域



2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

モデリングプロセス分類の考え方と 研究項目の抽出

- 対象分野固有のモデル表現の知を活用して現象の分析を深化させる順問題的フェイズ
 - 対象の表現の選択・設計
 - 現象の数理科学的表現を目指す「**先端的数理モデリング**」
 - 現象の計算科学的表現を目指す「**Agentモデルとマクロ・ミクロ連携**」
 - 現象の帰納的表現を目指す「**統計モデル**」の統合
 - 社会的現象の把握の基盤としての「**動学的経済モデルと統計整備**」
 - モデルのデータとの同化
 - 与えられたモデルとデータと結合数値としての「**データ同化**」
 - モデルのデータからの探索学習としての「**データマイニング・機械学習**」
- 課題解決に資するモデルを設計・合成する逆問題的フェイズ
 - 合成と最適化
 - 社会課題解決システム合成戦略としての「**モデル合成による社会課題解決の廣域**」
 - システム合成方法論の数理科学的の高度化を目指す「**モデルの正則化・最適化**」
 - 妥当性・信頼性評価
 - 「**モデル統合に基づくシステム設計とその評価**」
 - 妥当性・信頼性評価自体の基礎統計数理科学的の高度化を目指す「**モデル評価技術**」

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

先端的数理モデリング 田中剛平(東大)

- 実社会の諸問題を解決するための基礎となる数理モデリング技術の開発
 - 支配原理・法則が明確でない対象に対しても、ビッグデータからシステムの本質を抽出し数理モデル化する方法論を確立
 - 制御工学、複雑系科学、ネットワークモデル、マルチスケールモデル、メソコピックモデル、ハイブリッドモデル、マルチフィジックスモデル
- 欧米
 - 複雑系科学中核研究機関によるプロジェクト形成
 - 2011年位からファンドも増加
- 日本
 - 基礎研究は強い
 - 社会的重要課題を察知できる体制作り必要
 - 理論研究者と分野の研究者との垣根
 - 欧米研究機関との連携も

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

Agentモデルとマクロ・ミクロ連携 倉橋節也(筑波大)

- マルチエージェントモデルを利用して社会のマクロ現象とミクロ現象の関連を説明
 - ミクロの主体が相互作用することでマクロ秩序が発生し、ミクロ主体の行動変化
 - 相互作用に注目する社会的マルチ・エージェントモデル
- 欧州・米国のプロジェクト形成
 - 社会シミュレーション、マルチエージェントモデル、政策立案、政策評価、意思決定モデル、機械学習
- 欧米
 - 社会科学者主体となったモデル化
 - 社会科学者のための世界標準ツール
 - 政策支援決定を目指す
- 日本
 - 協調学習で世界水準の基礎研究
 - 社会科学者の参画少ない
 - 金融市場、労働市場研究
 - 産業応用への開発支援に難

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

統計モデル 椿 広計(統計数理研)

- 高度計量モデリングの統合的活用を目的として、非専門家のモデル利活用のためのインテリジェントなシステムを創生
 - 推論形式のモデルチェンジ時期を迎えて、利用計量モデル自体の変革を意図して知識ベース構築の必要性
 - ベイズモデル、一般化線形モデル、グラフィカルモデル、潜在クラスモデル、非線形モデル、状態空間モデル、確率的フロンティアモデル、セミパラメトリックモデル、構造方程式モデル
- 欧米・中国・韓国
 - 学部・学科レベルで排出される専門家層の厚みを活かし、理論研究から応用研究
 - 産業利用については、方針は明示、利用産業界は限定的
- 日本
 - 基礎研究については分野限定的ではあるが貢献
 - 応用研究は属人的繋がりを中心
 - 産業利用は、かつては世界最高、現在は25年前の水準を維持
 - 正規線形モデル、因子モデルでストップ
 - 医学、金融などで高度モデルに追随

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

動学的経済モデルと統計整備 櫻庭千尋(日銀)

- マクロ経済政策や年金制度設計に必要な動学的モデリングと、その実証分析に適した経済統計データ整備に関する研究開発
 - 制御論との連携
 - マクロ経済分析の枠組みで特定分野の構造の検討
 - ミクロデータの活用
 - サイバースペースからの定性的情報を数値に射影
 - 最適政策、年金制度、動学的モデリング、動学的一般均衡モデル(DSGE)、金利の非均衡制約、合理的期待、統計整備
- 欧米
 - 米国において最適制御ソフト導入、実証研究など加速
 - データ整備
 - 米国では政策提案に利用、ただし、難解な数理のアカウンタビリティに難
- 日本
 - モデリング開発はあまりない
 - 実証データ整備中
 - 日銀、東大、一橋大での実証分析
 - 日銀と一部研究者以外にはモデリングの必要性認知が欠如
 - マクロとミクロとの実証の乖離

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

データ同化 吉田 亮(統計数理研)

- データ同化法に基づく、モデリング・数理・計算の基礎研究を推進し、戦略的応用分野として、物理、生物学、医薬品開発、医療・情報産業、防災、工業製品設計、社会科学等の分野で新しいシミュレーションモデルの実用化を図る
 - 欧米のみならず、わが国でも研究開発拠点形成が進む
 - シミュレーション、統計科学、気象・海洋データ同化、創薬、防災、モデル設計、スーパーコンピュータ
- 欧米
 - 基礎研究水準、応用研究水準が高い
 - 民間での応用は顕在化していない
- 日本
 - 基礎研究においては、欧米に比して分野横断的開発に難、統計科学分野は弱い
 - 実社会への適用開始
 - 気象庁における実装
 - 創薬分野などでの研究開発

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

モデルの正則化・最適化 池田思朗(統計数理研)

- 情報源の疎性に基づく新たなモデル正則化法とその応用、実現のための最適化法の研究
 - 信号のパワー中心のモデル当てはめ技法から、L1ノルムを用いるなど、発想を柔軟に転換することで、情報観測技術、情報処理技術を革新
 - 圧縮センシング、LASSO, 正則化、疎性、緩和問題
- 米国
 - 基礎研究、応用研究共に米国が世界をリード、方法論としては学術界で定着
 - 産業界もIT系、医用機器では活用
 - 欧州は米国に後れをとっている
- 日本
 - 国際会議に参加する研究者は少ない、徐々にに関心を持つ研究者は増えている

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

モデルの統合に基づくシステム設計とその評価 大島明(トヨタ自動車)

- 対象とするシステムを構成する要素の動的振る舞いを数式化したモデル要素を統合して、目的にあったシステムの動的振る舞いモデルを構築し、開発されたシステムモデルを利用して、企画・戦略決定、機能設計、システムの安全性・信頼性・セキュリティが十分であることの評価と検証、システムの維持や調整を行う
 - 物理モデル、実験モデル、物理・実験モデル統合、制御対象モデル、制御装置モデル、人間モデル、環境モデル、要求モデル、制約モデル、モデルベース開発、システム同定、データ同化
- 欧州
 - 物理モデル言語の開発・強化
 - モデル流通のオープンな枠組み
 - 分野間での情報交換
 - 多くのツール販売企業
 - ISO国際標準化
 - 機械学習との連携
- 日本
 - 特定の分野でのモデリング
 - 産業界での関心
 - ツールは欧米頼り

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

モデルの評価技術 鎌倉稔成(中央大)

- システム開発のために作成されたモデルの妥当性、信頼性評価
 - データマイニング・機械学習(特に、ゲノムマイニング)分野での評価技術の問題
 - 基礎数理の評価システム構築への汎用性
 - AIC最小化、田口メソッド、尤度、ベイズ情報量規準、最小記述長
- 欧米
 - 多数のモデル論研究者による基礎研究、応用研究の推進
 - 米国では、Google、自動ナビゲーションなどで実績
- 日本
 - AICの先駆的研究
 - これを利用した応用研究は社会科学分野にも存在
 - 機械学習分野の基礎研究進展、評価技術に難

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

モデリングの基礎研究力を 実践力に転化

- 基礎研究における我が国の競争力
 - 正則化・計量モデルなど一部の分野に難
 - 研究者育成ができていない
 - 多くの分野は基礎研究では欧米に離れていない
 - 重大分野の応用研究では質量ともに差を付けられている
- 学術分野での応用研究はモデラー近傍に留まる？
 - 産業界は納得すればアカデミアとは独立に進展
 - 納得するための動機づけは、世界に先行しているのか、後進なのか？



2012/10/12

平成24年度システム
シナリオ

H22年度3提言再び

- 提言1: モデリング知のプロジェクトへの参画制度
 - 複雑性・不確実性を有する重要課題の解決に当たっては、**モデリングの専門家とモデルの利用の専門家**が、課題解決プロジェクトのメンバーに参画するか、少なくともプロジェクトに対するコンサルテーションを行う事が望ましい。
- 提言2: 高等教育拠点のネットワーク
 - 前記ミッションを遂行できるモデリングの専門知を体系的に有する専門職を系統的に育成することを目指し、**高等教育拠点の全国展開ならびに標準的教育システムの開発**が必要である。
 - この実現に向けて、現在全国の大学の様々な学部・研究科に分散しているモデリング知の研究者ネットワークを早急に形成することが望ましい。
 - 長期的にはモデリング知の専門職の中から、更にモデリング自体の研究を行い、次世代のモデリング専門職を教育するような、研究教育者を育成する研究拠点の全国的NOEが形成されることが望ましい。
- 提言3: 基盤整備とそれに当たる人材の評価
 - モデリングの知を有効活用するための**社会情報データベース、モデル要素の知識ベース、モデル利用知分野にモデラーが引き渡す情報の標準化**などの基盤整備活動を早急に行うことが望ましい。
 - その際、これらの活動がこれまでで研究活動としては十分評価されてこなかった現状を鑑み、この活動を支援する人材の適切な評価を通じて、実力のある人材が当該分野の活動を支えることに努めなければならない。

2012/10/12

平成24年度システム科学技術俯瞰
ワークショップ

おわりに: 社会の支持するモデリング学 モデリングの利用と決算

- モデリング学の経済効果
 - = 合理的情報収集 + モデリングの効果
 - 専門職の稼働対価(国の教育水準依存)
 - = 合理的意思決定の費用対効果
 - 割雞焉用牛刀
 - 記述統計レベルで90%以上の問題は解決
 - 海外の記述統計必修化
- 可視化 = 経済価値 + 人間的価値の算出
- モデリングの価値可視化の現状
 - 海外では当たり前
 - 日本では？

4. 4 制御

早稲田大学理工学術院

教授 内田健康

俯瞰区分の制御では、非常にラフに表現すると、システムが持つ目的に沿った機能を実現する入力を制御と呼び、それを決める方法を制御設計法として、制御および制御設計法に関する範囲を俯瞰している。

俯瞰図では、実社会の課題に対しての解決策を与えるために、まずモデルを作成・修正し、解析、それから制御系設計をして、シミュレーション等による解析、そういう過程を経て設計されたものが実装されれば、当然実社会とのやり取りがあって評価が行われる。このループを繰り返す、あるいは部分的に行きつ戻りつしながら、というプロセスを骨格として示している。また、上部に示しているモデリングとシステム理論に関しては、制御の俯瞰区分に限らず全体にかかる領域であるが、その中で特に制御と重なる部分に絞って俯瞰範囲に含めている。

近年の大きな課題は、対象とするシステムの大規模化・ネットワーク化、システム内部の不確かさ・複雑性が非常に増大していること、それからシステムと周辺環境との接面が非常に拡大していること、である。これらの課題をクリアすることが制御の分野に今必要とされているという視点から、9つの研究開発課題を設定している。

(9 研究開発領域の個別説明：スライドを参照)

<質疑>

C. 制御は、通常制御と保安制御の2つが独立にある。システムを構築する時にはむしろ両方必要となるが、後者をむしろ重要視して設計する。そこがしっかりしていないと大事故につながる。日本の研究コミュニティは保安制御を重視しておらず、非常に不安。保安制御を1つ大きな分野として取り上げていただきたい。我々産業界としては、それがあればシステムをやる上で全面的にディPENDしていきたい(桑原)。

俯瞰区分 「制御」

早稲田大学理工学術院
内田健康



研究開発領域

- ・ 学習制御／適応制御
- ・ ロバスト制御
- ・ 最適制御／予見制御／予測制御
- ・ 分散制御／分布制御
- ・ 合意・同期・被覆制御
- ・ 大規模・ネットワーク制御
- ・ 確率システム制御
- ・ 故障検出／信頼性設計
- ・ 制御の基盤としてのシステム理論

学習制御／適応制御

- ・ 学習制御: 未知の特性、入出力データを反復利用した学習により生成される制御、人間の学習メカニズムとの関連、機械学習との融合
- ・ 適応制御: 未知の特性、環境データに適応して変化させる制御、様々な制御手法との融合
- ・ 注目動向: (IFAC-WS) "Adaptation and Learning on Control and Signal Processing"、データ駆動型制御器チューニング (IFT, VRFT, FRIT)、移動知、対象の広がり・固有な展開 (multi-agent system など)
- ・ 国際比較: 欧州

ロバスト制御

- ・ 不確かな制御対象を「モデルの集合」ととらえ、全ての集合要素に「一様な性能」を実現する制御 (H_∞ 制御、 μ 制御、LMI/SoS)
- ・ 注目動向: 大規模な問題における計算量のボトルネック、ランダム化ドアルゴリズムに基づく展開、データ駆動型制御の可能性
- ・ 国際比較: 米国、日本、欧州 (基礎研究)

最適制御／予見制御／予測制御

- ・ 予測制御: 未来の目標 (既知) に対する最適制御
- ・ 予測制御: Receding Horizon (最適) 制御、拘束条件の考慮可能、実時間最適化が必要
- ・ 注目動向: 最適制御への新しいアプローチの展開、実時間最適化の方法とツールの開発、化学プロセス/環境・空調/自動車/エネルギー管理などの予測制御
- ・ 国際比較: 米国、欧州

分散制御／分布制御

- 分散制御: 局所的情報に基づく制御
- 分布制御: 空間的に分布したアクチュエータに基づく制御
- 注目動向: 環境・エネルギー、社会インフラなどの課題解決に向けた分散制御／分布制御の新展開、基礎的研究課題多い
- 米国 (NSF) “Local Distributed Power Systems”
- EU “Control for Coordination of Distributed Systems”
- 国際比較: 米国、欧州

合意・同期・被覆制御

- 合意・同期制御: 各エージェントを共通の状態に導く協調制御
- 被覆制御: 各エージェントの相互距離を大きくする協調制御
- 注目動向: 環境・エネルギー／社会ネットワークの人間心理／心理学とシステム制御／神経ネットワーク分野の課題と関連した新展開、ゲーム理論とマルチエージェント最適化理論の統合
- 国際比較: 米国主導

大規模・ネットワーク制御

- ネットワーク化制御システム: センサ・アクチュエータ・コントローラの通信ネットワーク化制御システム
- マルチエージェントシステム: 無線通信を用いた自律移動ロボット、センサネットワーク
- 注目動向: 通信制約と制御性能、情報セキュリティ、省エネルギー化
- 国際比較: 米国 (NSF) CPS、欧州 HYCON / FeedNetBack / WIDE / ACCESS

確率システム制御

- 確率システムとしてのモデリングと制御
- 注目動向: 確率システム制御を必要とする課題の拡大 (環境・エネルギー／リスク管理／ファイナンス／サイエンス分野)、サンプルに基づく確率システム制御、確率的不確定性の活用
- 国際比較: 米国、欧州

故障検出／信頼性設計

- 故障検出 (異常検出): モデル型とデータ型 (MSPC など)、設備と品質、オフライン分析からリアルタイム監視と予測・制御へ (品質)
- 信頼性設計: フォールトトレラントからディペンダブルへ
- 注目動向: RTRT: Real Time Release Testing (NSF) “Simulation-Based Engineering Science”
- 国際比較: 米国、欧州

制御の基盤としてのシステム理論

- システム表現、安定性、可制御性／可観測性、性能評価
- 注目動向: ビヘイビアアプローチ、不変集合の計算手法、時相論理の利用、対象の広がり (ディスクリプタシステム、特異摂動システム、ハイブリッドシステム、ネットワークシステム、確率システム、サイエンス分野) に伴う展開
- 国際比較

4. 5 最適化

東京大学大学院情報理工学系研究科
教授 杉原正顕

最適化問題というのは、ある目的関数があつて、制約条件 X をみたす解の全体、実行可能領域 F (feasible region) を最大化したり最小化する問題を解く、というものである。

例えば、リニアモーターカーの磁気シールド最適設計問題では、磁気を遮断するためには鉄を多く使えばよいが、一方で重量を抑えなくてはならず、いかに最適にシールド設計をするかという問題を半正定値計画問題として解く。半正定値計画問題は、線形計画問題を解く新解法としてここ 10 年で発展してきたものである。このように、最適化手法の発展により、いろいろな場面で応用されるようになってきている。

俯瞰図では、最適化の様相の全体を非常に単純化して表現している。実社会における課題を右端に示しているが、まずは課題を解くために落とす最適化モデルを、線形計画問題などの基本的最適化問題のクラスと応用的最適化問題のクラスの二つに分けて描いている。実社会における課題は、単純にこれらのクラスへモデル化できないことも多く、その場合は近似して扱うことになる。応用的最適化問題は、基本的最適化問題のクラスを複雑に結びつけたクラスになっているものもあれば、独自に存在する問題のクラスもある。

基本的・応用的最適化問題に付随して確立されてきている部分として、最適化アルゴリズムという一連の手法を左に描いている。必ず 1 対 1 というわけではないが、この問題にはこの最適化アルゴリズムという対応がおおむね確立され、充実してきている。

アルゴリズムの下に【多数のソフトウェア】と簡単にしか表記していないが、最適化モデルと最適化アルゴリズムを融合させたソフトウェアも多数開発・提供されている。かなりの能力を持つアルゴリズムがインプリメントされ、いろいろな複雑な問題を早く解けるようになってきている。

現実で解かねばならない問題はかなり複雑になってきているので、近似してモデリングし、アルゴリズムを適用し、ソフトウェアを用いて、最適解を求めた後に、そこから現実と比較して評価することが必要である。適切でない場合には、近似度をあげたり、モデルを変えたりして、再度ループを回しながら問題を解決していくことになる。最適化というのは、システム構築に常についてまわるものであり、システム科学のコアとなる部分である。

(6 研究開発領域の個別説明：スライドを参照)

<質疑>

- Q. 条件が日々変わる社会システムを扱うには、オンライン最適化も重要なのではないか(丸山)。
- A. 同意。制約条件の式に時間が含まれると非常に問題の設定が難しくなる。また、大規模問題を扱うには、微分計算を使わずに解けるようにしなくてはならず、違った観点でまた困難な課題である(杉原)。
- Q. 具体的に、こういうものが解けた、あるいはこの研究が進めばこういうものが解けそう、

というのが見えないとアピールできないのでは（岩橋）。

- A. 全体を俯瞰して国際比較をするため、途中議論はあったが、比較的古典的な形で基礎・基盤的領域も含めて研究開発領域を設定するにいたった。個別の領域のなかに、現実の非常に難しい問題で、かつシステム科学に重要な寄与をする解くべき課題が入っている。例えば、NP 完全な問題を解く、大規模混合問題を解くなどの課題である（杉原）。

※システム科学ユニットより補足

日本と米欧など 5 カ国について、ある程度エビデンスに基づいた国際比較を依頼している。各俯瞰区分において、基盤的・古典的な領域が目につき新しさが見えにくいとすれば、発注側したユニット側の課題である。システム科学がどのようなターゲットを設定して解けば、イノベーションを引き起こせるかといった戦略的な議論は、本俯瞰に基づいて次のプロセスで行う。

俯瞰区分「最適化」

杉原正顯
東京大学大学院情報理工学系研究科

1

1

「最適化問題」

最適化問題の一般形:

最小化 $f(x)$

制約条件 $x \in F$

目的関数

実行可能領域



磁気浮上式リニアモーターカーの
磁気シールド最適設計問題

目的 $A_0 \bullet X \rightarrow \text{最小化}$
条件 $A_i \bullet X = b_i \ (i = 1, 2, \dots, m),$
 $S^n \ni X \succeq O.$

2

2

隣接科学領域

【多数のソフトウェア】

最適化

最適化アルゴリズム

最適化モデル

評価

実社会における課題

【基本的最適化問題のクラス】

- 線形計画問題
- 凸2次計画問題
- 非正定値計画問題
- 非線形計画問題
- 組合せ最適化問題
- 整数計画問題
- グラフ・ネットワーク上の最適化問題
- 動的計画問題
- 多目的計画問題
- 線形計画問題
- 変分問題
- ゲーム
- ファジーモデル

【応用的最適化問題のクラス】

- 在庫管理
- 多段階確率計画問題
- 運搬経路問題
- 施設配置問題
- ネットワークデザイン問題
- スケジューリング問題
- 形状最適化問題
- 意思決定問題

【最適化アルゴリズム】

- 単体法
- 内点法
- 準ニュートン法
- 信頼領域法
- 共役勾配法
- 乗数法
- 逐次2次計画法
- 緩和法
- 分枝定法
- 分枝平面法
- 分解法
- ネットワークアルゴリズム
- マトロイド理論
- 乱択アルゴリズム
- メタ解法
- 貪欲算法
- 局所探索法
- 焼きなまし法
- GA)
- ニューラルネットワーク
- 動的計画法
- 線形計画法
- 多目的計画法
- 地質化法
- ゲーム理論
- 意思決定法

【最適化モデル】

- シミュレーション
- 感度解析

3

3

研究開発領域

【基礎的な研究開発領域】

- ②「連続最適化」(連続変数の最適化問題とその解法の研究)
- ③「離散最適化」(整数変数を扱う整数計画法、グラフやネットワークに代表される離散構造を扱う組み合せ最適化の研究)

【実社会の複雑かつ大規模な最適化問題に対応するための研究開発領域】

- ④「最適化計算」(複雑かつ大規模な最適化問題を解くための大規模計算技術の研究と開発)
- ⑤「最適化モデリング」(実社会の複雑、かつ、曖昧な問題を如何に最適化問題に定式化するかの研究と開発)

【最適化技術の普及のために重要な研究開発領域】

- ⑥「最適化ソフトウェアと応用」

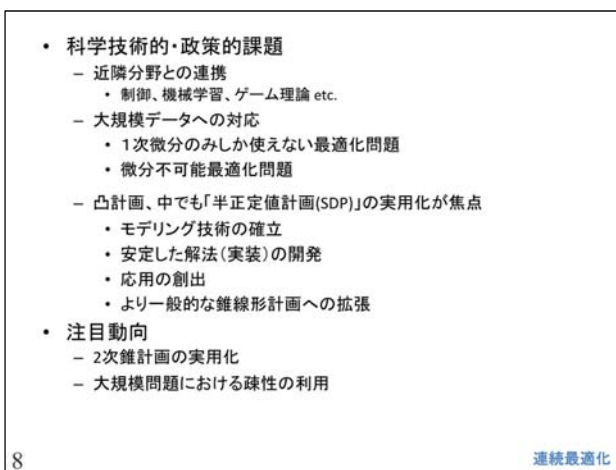
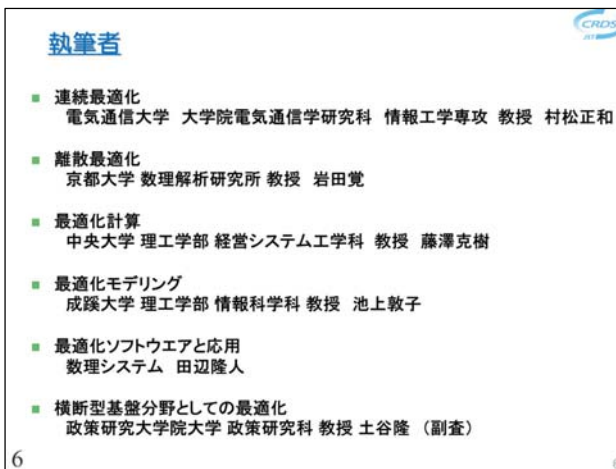
【分野融合的な研究開発領域】

- ①「横断型基盤分野としての最適化」(最適化分野は、様々な分野(応用分野は言うに及ばず、数学などの基礎的分野)と融合することによって発展してきた。この最適化分野の分野融合的な研究を促進する)

●進化的アルゴリズムについては扱っていない。

4

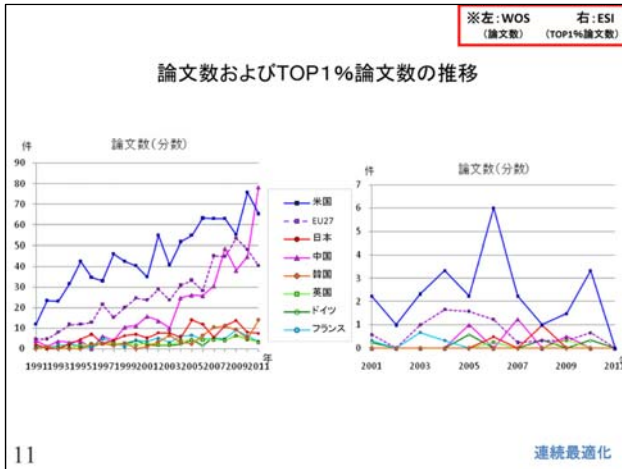
4



技術	基礎研究	◎	?	・ オランダの言語学に関する研究が盛んで、その分野の人材もたくさん輩出している。 ・ 近年盛んに研究されている多言語文法に関しては、フランク、LAAR の <i>Lantern</i> 研究、GODDARD の <i>Language</i> 研究等が、主要な研究者一人である。LAAR 研究は代名詞の語法学的な観点からの応用を重視し、オランダ語を中心に他の言語にも適用されている。 ・ デンハーグでは、CINTEC Center for Operations Research and Educational Research の分野で一流の成果を出している。
	応用研究・開発			・ Delft の TUE (Gouda Institute Delft) では高度な通信ネットワークの開発を行っている。 ・ YALMIP^① というソニーの高度なソフトウェア環境を作成するプロジェクトが成功しつつある。
経済学	基礎研究	◎	?	・ 交通と運輸、企業における最適化の分野のトーマス・スミスが、最も有名である。 ・ 高度ソフトウェア、最適化と関係が深い。設計者のソフトウェアをもっともよく知る M. JONGE、機械工学のトーマス・Lewandowski など、独自のソフトウェアを開発されている。
	基礎研究	×	?	・ 近年、特に古典的の分野に関して大量の研究が発表されている傾向があるが、レベルの高さには乏しい。 ・ 中堅以下で最新の研究に高い評価を受けている。
中国	応用研究・開発	×	→	ソフトウェアの開発等では評価を受けていない。
	産業系	△	→	・ 市場が大きいため、経済学や社会学の分野に広範囲にわたっていることから、高度な技術の産業化に必要の技術と資金は豊富といえるのと考えられる。しかし、高度な技術の産業化には関わっていない。
韓国	基礎研究	○	→	・ 研究の盛んでない。
	応用研究・開発	△	→	・ 特に工学の盛んでない。
韓国	基礎系	△	→	・ 特に工学の盛んでない。
	産業系			
注1) フォーブス				
国際研究「ユース」大学「経済学」での国際研究センター 応用研究・開発「ユース」大学「経済学」での国際研究センター 基礎系「ユース」大学「経済学」での国際研究センター				
注2) 研究				
韓国は研究の分野に大きくは特化していません。特に研究がある。 ① 韓国では特に「経済学」の分野、成果が見えない。 ② ある程度の研究、成果が見えない。 ③ 韓国では特に「経済学」の分野、成果が見えない。 ④ 韓国では特に「経済学」の分野、成果が見えない。				
注3) その他				

連続最適化

10



研究開発領域： 離散最適化

・ 領域説明(国内外動向を含む)

- 離散的な構造に関する最適化 (応用例: サプライチェーン・マネジメント、ネットワーク型インフラの整備と運用、集積回路の設計、スケジューリング)。限られた資源を有効に利用するために本質的な技術。
- 効率的なアルゴリズムが存在する問題 (例: 最小木問題、最大流問題) に対しては、マトロイド理論、離散凸解析による理論的解析が進んでいる。日本の研究者の寄与も大きい。
- NP困難な最適化問題に対しては、90年代以降、アメリカ合衆国を中心に、近似アルゴリズムの設計がさかんに研究された。日本の貢献は少ない。
- 欧米では、多くの離散最適化問題を扱うことのできる整数計画法の研究が、近年の計算機性能の向上に伴って、再び活況を呈している。日本の研究者人口は極めて少ない。

12

離散最適化

・ 科学技術的・政策的課題

一 整数計画法の研究の先端的課題は、混合整数計画や非線形整数計画に移行。連続最適化に強い日本の特徴を活かして、追い付くチャンスがある。

一 数学、計算機科学、オペレーションズ・リサーチといった従来の学問分野の境界に位置するため、大学院レベルで、離散最適化に必要な知識を体系的に網羅したバランスの取れたカリキュラムを提供できる体制を整備することが望ましい。(参考: Carnegie Mellon 大学, Georgia 工科大学の ACO Program)

・ 注目動向

一 巡回セールスマン問題(TSP)に対する近似解法の進展。1976年に近似比 $3/2$ の近似アルゴリズムが提案されて以来、全く進展がなかったが、グラフ上の巡回セールスマン問題に対しては、2010年12月に、僅かに近似比を改善する解法が提案されて以来、様々な新しいアイデアが出され、現時点では、近似比が $7/5$ にまで改善されている。一般の巡回セールスマン問題に対しても同様の改善ができるのか、その結果、従来から予想されていた近似比 $4/3$ が実現できるのかという点が注目されている。

13

離散最適化

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、特長(参考にした情報など)
日本	基礎研究	○	△	・ 組合せ最適化分野では活躍しているが、近似アルゴリズムや整数計画法に関しては、欧米先進国の後塵を拝している。学術雑誌や国際会議における論文の投稿状況にそれが反映されている。 ・ 組合せ最適化の若手研究者を中心に、レベルの高い論文が発表される傾向にある。
	応用研究・開発	○	→	・ 企業に就職して活躍する博士課程修了者は依然として少ない。
	産業化	○	→	・ スケジューリング、生産計画、配送計画において、多くの適用事例が知られている。 ・ メタヒューリスティクスを含んだ最適化パッケージも作成、販売されている。
米国	基礎研究	◎	→	・ MIT を始めとする拠点大学で、世界中から集まった優秀な大学院生が学位を取得している。 ・ 例として、Carnegie Mellon 大学とGeorgia 工科大学では、1980年代から、'Algorithms, Combinatorics, and Optimization' というタイトルの博士課程プログラムがあり、計算機科学、離散数学、最適化のバランスのとれたカリキュラムを提供することによって、離散最適化分野で多くの優秀な研究者を輩出してきている。
	応用研究・開発	◎	→	・ IBM, Microsoft, Yahoo!, Google といった企業が、離散最適化・計算機科学の分野の学位取得者の主要な就職先になっている。その中には、世界的に広く知られた研究者も少なくない。
	産業化	◎	△	・ スケジューリング、生産計画、配送計画といったオペレーションズ・リサーチの伝統的な適用分野だけでなく、旅客運搬広告のように離散最適化技術が決定的な要素となる新たなビジネスモデルが出てくる。

14

離散最適化

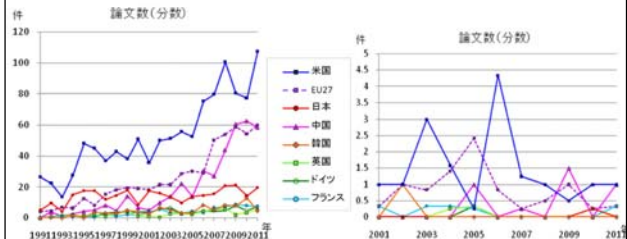
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、特長(参考にした情報など)
欧州	基礎研究	◎	→	・ 各国に研究拠点が複数あり、互いに連携を取り合っており、サマースクールや研究会を主催し、研究レベルの向上に努めている。 ・ ハンガリーでは、組合せ最適化の研究グループが、非常に高い水準の研究を継続的に進めており、若手研究者の育成にも成功している。我が国の研究者も長年に渡って研究交流を続けてきた。最近では、共同研究や共同で、共同研究も盛んに行われるようになってきている。 ・ ドイツでは、整数計画法の研究者を中心に離散最適化の研究者が多く、充実している。 ・ オランダでは、国内に複数の研究拠点が存在し、それらが互いに近いという利点を活かして、オペレーションズ・リサーチ関連の博士課程における教育プログラムを全大学共通で行っている。これによって、教員の負担を増やすことなく大学院レベルの教育水準を向上させている。 ・ フランスでは、CNRSの協力を活用して、定期的に招待者のみが参加する国際研究集会を開催して、情報交換と研究レベルの向上に努めている。
	応用研究・開発	○	△	・ ドイツでは、数学の工学応用を推進するプロジェクト MATHEONが推進され、産業界の機関にも数学者が取り入れられてきた。成果を挙げている。
	産業化	○	△	・ EUでは、鉄道輸送の合理化に最適化の研究者が積極的に関与し、成果を挙げている。
中国	基礎研究	△	→	・ 香港の Lap Chi Lau 氏以外には、世界的に知られた離散最適化の研究者は少ない。 ・ 北京の清華大学に Andrew Yao を所長とする理論計算機科学の研究所が設立された。今後の発展が期待されるが、必ずしも離散最適化に重点的に取り組んでいる訳ではない。
	応用研究・開発	△	→	・ 応用研究・開発の動きについては不明。
	産業化	△	→	・ 産業化の動きについては不明。
韓国	基礎研究	△	→	・ 計算機科学、離散数学では優れた研究者がいるが、離散最適化分野で世界的に知られた研究者は少ない。
	応用研究・開発	△	→	・ 応用研究・開発の動きについては不明。
	産業化	△	→	・ 産業化の動きについては不明。

15

離散最適化

※左: WOS (論文数) 右: ESI (TOP1%論文数)

論文数およびTOP1%論文数の推移



16

離散最適化

研究開発領域：最適化計算

・領域説明(国内外動向を含む)

- 実社会における大規模かつ複雑で緊急性の高い諸問題に対して最適化手法の適用を行い、最新の計算技術を駆使した大規模計算によって解決するための研究開発
- 最近の国内外の情勢から最適化問題の適用が必要とされる分野には以下のような新しい分野が加わり、物理的な範囲においても以前のように一企業や一団におけるレベルから、地球規模に拡大しつつある
 - 大規模災害等で突発的に発生してリアルタイムに状況が変化し早急な解決が望まれる問題(防災計画策定、交通・災害復興・避難・ロジスティクス)
 - エネルギー資源の確保や生成及び省エネルギーや最適供給に関する研究(交通制御、資源探索、エネルギー供給、ライフラインの基盤計画、スマートグリッド等)
 - 社会公共政策や企業経営等のため大規模データの有効活用(疫学の拡散、人口の増減、経済動向等の分析、生命科学系(創薬、遺伝子)、ビジネス系(金融、データマイニング)、安全保障分野(組織構成の解明、事件事故の事前予測))
- これらの諸問題の解決(具体的かつ現実的な対応)のためには新しい最適化計算の研究開発が必要という認識が共有されつつある
- 最先端理論(Algorithm Theory) + 大規模実データ(Practice) + 最新計算技術(Computation)による超大規模最適化問題の解決を目指し、特に米国やドイツなどの欧米先進国では分野横断型の様々なプロジェクト開始されている
- 日本においても問題毎に理論からアルゴリズム、データ収集、ソフトウェア実装それに大規模計算までの研究者が集結、融合を目的とするプロジェクトの実現が急務

17

・科学技術的・政策的課題

- 領域説明で述べたような実社会で要求される大規模最適化問題を解決するためには、短時間に膨大な計算量とデータ量を処理するための新技術が必要
- 大規模災害等で突発的に発生してリアルタイムに状況が変化し早急な解決が望まれ、かつ非常に計算量やデータ量などの規模が大きく従来の手法では処理が困難な性質を持つ実問題においては、大規模ネットワークの探索とクラスタリングの高速処理技術の開発が必須
- 現在の最適化理論とソフトウェア実装方法では次世代スパコン上で数千万規模の並列性を備え、ストレージの階層性が深化したポストベタスケールシステム上でのスケラブルな実行は困難であり、アルゴリズム、システムソフトウェアと同時並行的な解決が求められている

・注目動向

- 日本：2011年度よりJST CRESTの研究領域「ポストベタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」が開始されている
- 米国ジョージア工科大学では100人を超える博士課程の学生たちによる最適化関連のソフトウェア開発も盛んに行われている。整数計画法、巡回セールスマン問題の解法に関する基礎理論から応用、さらには米企業との共同研究を極めて活発に推進
- 米国：最適化を含めたオペレーションズ・リサーチ分野の諸問題を解決するためのオープンソースソフトウェアの開発と公開を行うCOIN-ORプロジェクトを推進
- 欧州：ドイツの国立研究所ZIB(資料7)では「Fast Algorithms - Fast Computers」をモットーに最適化理論等の基礎研究からソフトウェア開発、さらに産業界や政府系機関との深い連携が行われている

18

最適化計算

(7)国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の根拠と参考とした情報など
日本	基礎研究	◎	→	日本の大学や研究機関の基礎研究のレベルは目覚ましく、多くの分野で世界のトップレベルを占めている。特に数値最適化、モデリング技術、特に数値最適化分野でのトップレベルを占めている。また、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。
	応用研究・開発	○	→	これまでの日本では、この分野の応用研究は遅れられる傾向にあったが、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。
	産業化	○	→	日本の製造業は高度な技術力と豊富な人材を有しているが、今後はこれらの分野に特化した研究開発が求められる。特に、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。
中国	基礎研究	◎	→	中国の大学や研究機関での基礎研究のレベルは高く、多くの分野で世界のトップレベルを占めている。特に数値最適化、モデリング技術、特に数値最適化分野でのトップレベルを占めている。また、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。
	応用研究・開発	◎	→	中国の製造業は高度な技術力と豊富な人材を有しているが、今後はこれらの分野に特化した研究開発が求められる。特に、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。
	産業化	◎	→	中国の製造業は高度な技術力と豊富な人材を有しているが、今後はこれらの分野に特化した研究開発が求められる。特に、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。

19

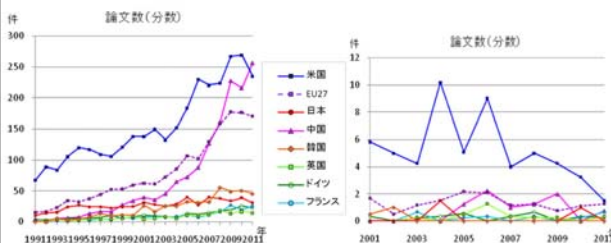
最適化計算

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の根拠と参考とした情報など
日本	基礎研究	◎	→	日本の大学や研究機関の基礎研究のレベルは目覚ましく、多くの分野で世界のトップレベルを占めている。特に数値最適化、モデリング技術、特に数値最適化分野でのトップレベルを占めている。また、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。
	応用研究・開発	○	→	これまでの日本では、この分野の応用研究は遅れられる傾向にあったが、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。
	産業化	○	→	日本の製造業は高度な技術力と豊富な人材を有しているが、今後はこれらの分野に特化した研究開発が求められる。特に、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。
中国	基礎研究	◎	→	中国の大学や研究機関での基礎研究のレベルは高く、多くの分野で世界のトップレベルを占めている。特に数値最適化、モデリング技術、特に数値最適化分野でのトップレベルを占めている。また、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。
	応用研究・開発	◎	→	中国の製造業は高度な技術力と豊富な人材を有しているが、今後はこれらの分野に特化した研究開発が求められる。特に、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。
	産業化	◎	→	中国の製造業は高度な技術力と豊富な人材を有しているが、今後はこれらの分野に特化した研究開発が求められる。特に、近年の急激な発展が顕著である。特に、近年の急激な発展が顕著である。

20

最適化計算

論文数およびTOP1%論文数の推移



21

最適化計算

研究開発領域：最適化モデリング

・領域説明

- 最適化モデリングは現実のシステムなどの設計、運用、制御、予測などに役立つ知見を得ることを目的として現象を数理的に記述する手法である
- 現象を記述するだけでなく、記述されたモデルを「解く」ことに重点をおく
- よい最適化モデリングとは、効率良く適切な解が得られ、一般性、不変性、ロバスト性を備えたものである
- 最適化モデリングの技法は、アメリカを中心に国内外で開発されてきたものの、これまでモデリング自体が研究対象となってきたことは稀である
- 近年のコンピュータの性能向上と最適化アルゴリズム分野の著しい発展の下、適切な最適化モデリングを行えば、最適解もしくは質の高い解を与えることが可能になっており、最適化技法は、あるところまでの成功を成し遂げようとしている
- 一方、最適化モデリングが現在抱える大きな問題、取り組むべき課題は、何を最適化とするかという「目的関数の設定」や「多次元的な解の評価」にある
- 数値化しにくい人間の満足度やバランス感覚の表現も数値演算を基本とする最適化技術の分野では難しい
- 最適化技術の恩恵をあまねく享受できる世の中を目指すならば、人間の評価尺度にもロバスト性を備えた最適化モデリング技術は欠くことのできない技術である

22

最適化モデリング

・ 科学技術的・政策的課題

- 最適化モデリングの質は、モデリングする人間に依存するのが現状で、最適化モデリングそのものについては研究領域になっていない
 - その方向性を決め、研究領域として取り組むべき
- 潜在的な評価尺度つまり人間の暗黙知に対してロバスト性を持つ最適化の考え方、最適化モデリングとアルゴリズムの関連の研究
- 変数・制約式の緩和を含めた、モデルの変形に関する理論的な展開、解空間の可視化や良解の分布に対する情報提供を、現在の情報検索のように提供できる技術
- 最適化モデリングにおける目的関数の設定
- 多次元的な解の評価

・ 注目動向

- 近年、数値化が難しい価値を追求するマネジメント問題は増加傾向
- サービスをより科学的に扱おうというサービスサイエンス
 - JST戦略的創造研究推進事業
 - 問題解決型サービス科学研究開発プログラム
- human-centered optimization
 - ヘルスケアを中心とした国際会議 (IMFOMS, ORAHS, PATAT等)

23

最適化モデリング

★作成した表は『潜在的な評価尺度や制約をも意識した最適化モデリングに絞った評価』である

(7) 国際比較 (潜在的な評価尺度や制約をも意識した最適化モデリングに絞った評価)

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況・評価に際した課題など
日本	基礎研究	△	↑	・小規模な最適化問題 (小規模なシステム) を対象に、理論的な基礎を築き、モデルの構築性、可視化等の研究、解の存在を証明する理論について研究が進んでいる。 ・最適化モデリング自体の研究への意識がまだ低い。 ・日本の研究状況は他の国と比べて、理論よりも応用重視の研究が多い。
	応用研究・開発	△	↑	・明らかに伸び代を期待したままの研究が多い。
	産業化	△	↑	・小規模な最適化問題を対象とするシステムが多く存在するにも関わらず、最適化エンジンが活用されていないままであり、最適化モデリング研究の活発な進捗は明らかである。
韓国	基礎研究	△	不明	・日本の研究状況に似ており、理論重視の研究が多い。 ・応用研究上の意識は高く見られる。特定の機能に対して深く掘り下げて進める研究が多い。
	応用研究・開発	△	不明	・明らかに伸び代を期待したままの研究も多いが、明らかに伸び代を期待する研究も少なくないという印象が伺える。
	産業化	△	不明	・人工知能等の小規模な最適化問題のシステムも多く存在するが、人間の認知能力を模倣しているものは少ない。
欧州	基礎研究	△	↑	・ヨーロッパの最適化・モデリンググループ (EUSIP) に集まるように、最適化グループに集まれている。最適化の研究状況について議論がなされている。 ・ただし、日本の研究状況に比べて、明らかに伸び代を期待したままの研究が多い。 ・応用研究上の意識は高く見られる。特定の機能に対して深く掘り下げて進める研究が多い。
	応用研究・開発	△	↑	・オランダでは、アムステルダムから雇用関係のハブ・エーションが多く、これらを活用する企業の人材を育成している最適化システム開発がある。
	産業化	△	↑	・スウェーデンにおいては、自動車へのサービス・システムに関するシステムもすでに利用されている。

24

最適化モデリング

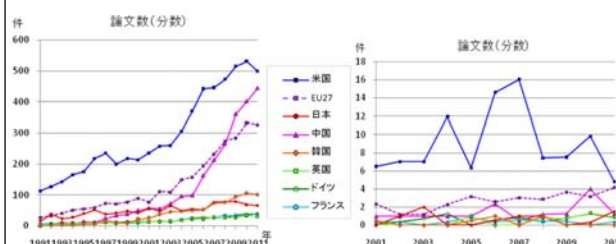
中国	基礎研究	×	不明
	応用研究・開発	×	不明
	産業化	×	不明
韓国	基礎研究	×	不明
	応用研究・開発	×	不明
	産業化	×	不明

注1) フェーズ
基礎研究フェーズ：大学・研究所などでの基礎研究のレベル
応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発 (プロトタイプの開発など) のレベル
産業化フェーズ：量産段階・製品開発のレベル
注2) 現状
現状の現状は現状を基にした現状評価ではなく、現状評価である。
○：他国に比べて顕著な進歩・成果が見えている。 △：ある程度進歩・成果が見えている。

25

最適化モデリング

論文数およびTOP1%論文数の推移



26

最適化モデリング

研究開発領域: 最適化ソフトウェアと応用

・ 領域説明 (国内外動向を含む)

- 現実世界と最適化計算の仲立ちをするモデリング、最適化計算の手順であるアルゴリズム、アルゴリズムの実行対象であるデータから成る。
- アルゴリズムは数学の知見を利用することにより最初に進歩したが、データが立ち遅れた。しかしデータが大容量ハードディスクやビジネスのIT化によって整備されてつつある現状、モデリングの遅れが目立つ。
- 最適化の分野の進展に寄与した主なソフトウェアツールとしては、汎用最適化パッケージ、統計解析パッケージ、スプレッドシート、モデリング言語が挙げられる。ハードウェア環境も整備され、これら汎用ツールはある程度普及した。
- 歴史的には米国や欧州がリードしてソフトウェア環境の準備が進んだが、近年では日本の研究機関もその整備に大きく寄与している。
- しかしながら、特に我が国においては、現場に最適化計算の技術がゆきわたっていない状況であり、まだ問題解決の方法として十分に認知されていない。

27

最適化ソフトウェアと応用

・ 科学技術的・政策的課題

- 問題を持つ現場と最適化計算をつなぐ技術や情報が決定的に不足
- アカデミック分野の研究者が、最適化による現場の問題解決に積極的とは言い難い
- データ重要性に関する認識も足りない
- 解の導出過程をイメージする可視化が未発達で、現場のユーザーの直観に訴えるソリューションにはなり得ていない
- 最適化計算によるサービスが商用ベースのものとして認識されていない
- 現場には最適化計算に対する盲信、あるいは反発が根強い

・ 注目動向

- 国外のソフトベンダー主導で、最適化を含むパラダイムである「ビジネスアナリティクス」を推し進める動き
- 問題解決型の研究テーマの設定による研究活動
- モデリング技術への認知改善
- モデル化不要の最適化技術 (機械学習・DFO) の台頭

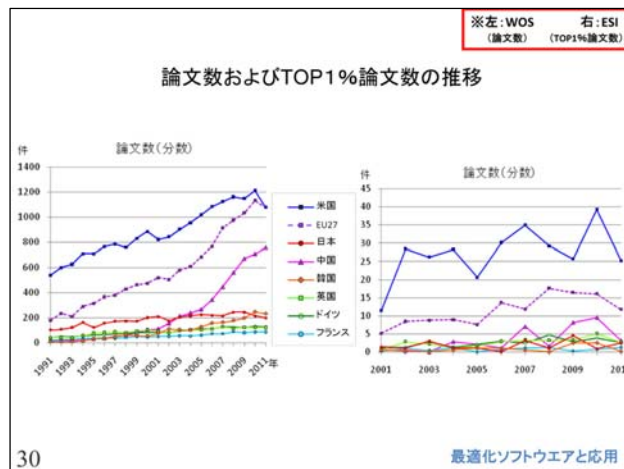
28

最適化ソフトウェアと応用

(7) 国際比較			
国・地域	フェーズ	現状	トレンド
日本	基礎研究	○	→
	応用研究・開発	○	→
	産業化	△	→
韓国	基礎研究	○	→
	応用研究・開発	○	→
	産業化	○	→
欧州	基礎研究	○	→
	応用研究・開発	○	→
	産業化	○	→
中国	基礎研究	△	→
	応用研究・開発	△	→
	産業化	△	→
韓国	基礎研究	×	→
	応用研究・開発	×	→
	産業化	×	→

29

最適化ソフトウェアと応用



30

最適化ソフトウェアと応用

研究開発領域：横断型基盤分野としての最適化—分野融合的な視点から—

・ 領域説明(国内外動向を含む)

- 最適化は勝れて横断的な研究分野であり、多くの分野における基本的な道具立てである。最適化は連続的最適化と組み合わせ最適化に大別されることが多いが、本研究領域では、横断的な分野との繋がりを考えた横断型の分野融合的研究を図る研究分野である。
- 方法論としての最適化が分野のモデリングに積極的に影響を与えている分野として、焦点をあてるべき分野として
 - 機械学習、制御、信号処理、統計科学、
 - スケジューリング、人員配置、
 - 正定対称行列
 等に関する最適化分野がある。
- 本研究分野では、これらの分野を含め、分野間の繋がりの中で、横断型の連携を重視した数理モデル技術と最適化の連携を担う。その意味では、モデリングにおいて最適化を活用する可能性を、数理的構造に重点をおいて探る。
- 世界的な潮流として、システム科学全体の中でこのような分野のボーダレス化は進みつつある。
- 「最適化モデリング」は、モデリングの中で最適化を強調し、現実に近い領域で分野横断型の連携を図る意図があるのに対し、本領域はより数理やアルゴリズムに近い領域で最適化を強調し横断型の展開を図る意図がある。

31

横断型基盤分野としての最適化

・ 科学技術的・政策的課題

横断的な研究者の養成

システム科学をはじめとする他の数理科学諸分野との連携
線形計画や半正定値計画、劣モジュール関数最適化等、他分野でモデリングに活用できる利用価値の高い「最適化モデル」の探索と数理的枠組みの展開
超大規模および悪条件最適化問題の解法

・ 注目動向

圧縮センシング
2次元・3次元モデルのための最適化
行列の最適化
スケジューリング・人員配置等のための最適化
確率的アプローチの展開

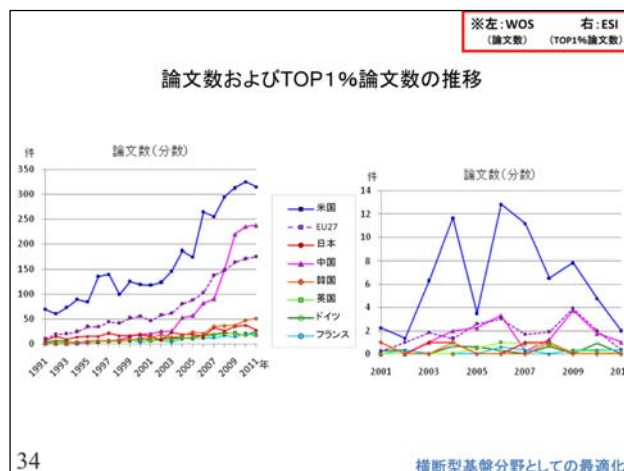
32

横断型基盤分野としての最適化

(7) 国際比較			
国・地域	フェーズ	現状	トレンド
日本	基礎研究	○	→
	応用研究・開発	○	→
	産業化	○	→
韓国	基礎研究	○	→
	応用研究・開発	○	→
	産業化	○	→
欧州	基礎研究	○	→
	応用研究・開発	○	→
	産業化	○	→
中国	基礎研究	△	→
	応用研究・開発	△	→
	産業化	△	→
韓国	基礎研究	×	→
	応用研究・開発	×	→
	産業化	×	→

33

横断型基盤分野としての最適化



34

横断型基盤分野としての最適化

4. 6 ネットワーク論

東京大学大学院情報理工学研究科

准教授 増田直紀

ネットワークは、数学で言うところのグラフと同じあり、歴史としては17世紀まで遡る。ネットワークで表現できる対象は、社会や人工物の中に数多くあり、特に近年いろいろな領域で注目されている。

例えば、人間関係はその最たるもので、友人関係、取引関係など、調べたい文脈によっていろいろ定められる。また近年、特にここ10年ほどで、大規模で多様なデータが蓄積され、それが生かされようとしている。社会の例に留まらず、生物分野では、食物網や分子の相互作用などが例えばあり、食物網は生態系の安定性の評価、分子の相互作用や代謝は創薬など、社会的期待や技術開発に役立ち、実用化されつつある。インターネットを初めとして工学的な分野や株式市場のような経済分野はもちろん、どの分野ともいえないような情動的なものなどいろいろである。

こういったものが一旦グラフないしネットワークとして認識・定義されたならば、数学だけでなく情報や物理などの知見なども総合的に駆使しながら、数理的に構造等を研究することによって知見を引き出し、技術の創成や問題の改善に役立てるとというのがネットワーク科学の立場である。

ネットワーク研究がもっとも産業応用された例の一つとして有名なのが、Googleの検索エンジンの要の技術である"Page Rank"である。Page Rankは98年に開発されたものであるが、ネットワークの技術を用いて、ウェブページの重要度を決定するためのアルゴリズムを設計し、定式化し、実用に耐える改良を施している。数学的に問題を解けない、定式化が簡単にできない部分は、時には大規模なシミュレーションを駆使して、ネットワークを理解することも行われる。

(4 研究開発領域の個別説明：スライドを参照)

<質疑>

- Q. ここ数年、スーパーコンピュータ系の大規模な次世代アプリケーションとして、グラフ探索というのが注目されている。日米のそれぞれトップクラスのスパコンを投入するに値する非常に大きなグラフなので、点数でいうと数千億点、数兆枝ぐらいのところで、例えば幅優先とか最短の計算をやっている。この部分では、日米が激烈にトップ競争をしていることを指摘したい。全般的にソフトウェアが弱いという日本の現状に関しては全く同意するし、むしろその危機感から、大規模グラフの高速探索技術と省電力探索技術だけは最先端を維持しようとしているものである。スーパーコンピュータは、今やもうコモデティ技術で全部構成されており、携帯電話でも使用するようなメモリ、チップといったハードとソフトの融合体なので、この領域で負けるということは、極端な話、スパコンだけではなく、下の携帯機器まで何でも作れなくなってしまうのではないかという危機感がある。
- A. ネットワーク解析用ソフトウェアという研究開発領域でカバーしているのは、ある程度

大規模なものも含まれてはいるが、フリーで既に使えるものを中心にしている。スパコンまでは現状入っていないが、ご指摘の通りである（増田）。

- Q. グラフのアプリケーションの研究で日立グループが強いと書かれている。確かに **Nature** に論文が出たし、またハーバードビジネスレビューにも載った研究だが、なぜそれができたかという、ハーバードビジネススクールや **MIT** と共同研究をしたからである。日本の産学連携が弱いという点も同時に指摘されているが、日本、米国、というふうに国ごとに比較して強弱を論じ、弱いから強くすべきといった短絡的な議論ではなく、それとはまた別次元の話でこれから議論していくべきではないか（武田）。
- A. まさに同意。その日立の事例もそうであるし、研究者間の国際研究もそうであるが、実際には国ごとに対決しているわけではない（増田）。
- A. もちろん **CRDS** の中でも同様の議論はある。会社も国籍がなくなっている、**GDP** も、**D**、ドメスティックというテリトリーでの捉え方も難しくなっている。その辺りの問題は認識しているが、国ごとの比較情報は必要であり、また変わるべき評価のやり方も今のところないため、現状のフォーマットとなっている。戦略を議論する際には、日本国内で研究強化することばかりではなく、国際連携して一緒にして頑張っていくという発想も当然とらなくてはならないと考える（木村）。
- Q. 産業化という部分をどう考えるかは非常に難しいが、国が音頭をとり税金を使っている以上、日本国内において新しい産業を創出し、どのぐらい国力を増せたかという視点はやはり重要であり、そのためにはある程度こういう書き方も必要と思う。日本企業の研究者が海外に飛び出し、新しく起業したとすれば、もちろん産業化に繋がっているが、日本の国力にはつながらない。もちろん、学問を進めるという意味では、国際連携など大いに進めるべきと思う（鎌倉）。

俯瞰区分「ネットワーク」

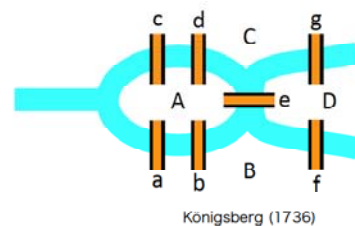
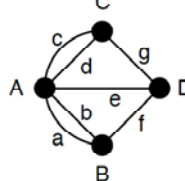
増田直紀

（東京大学 情報理工学系研究科）

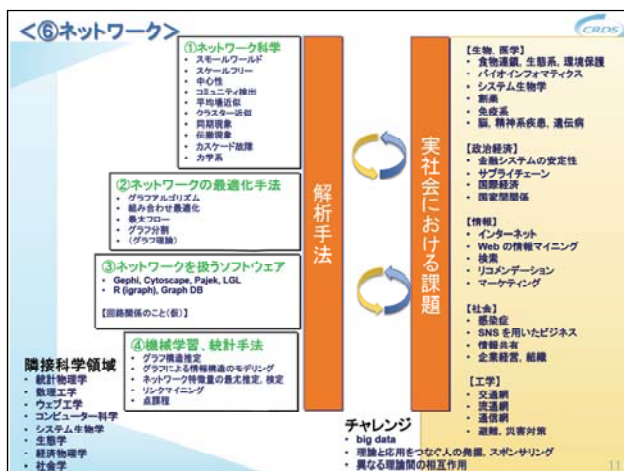
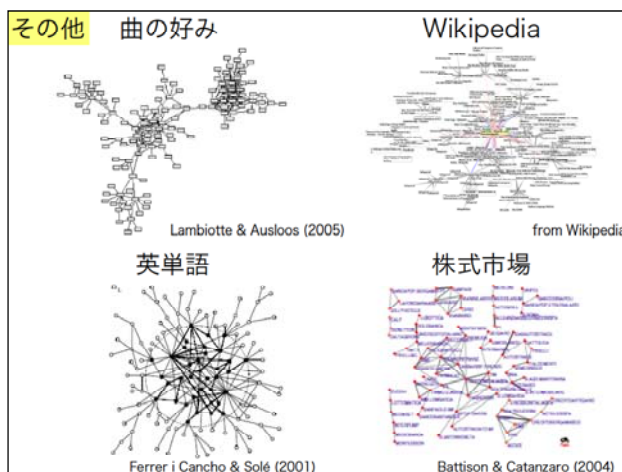
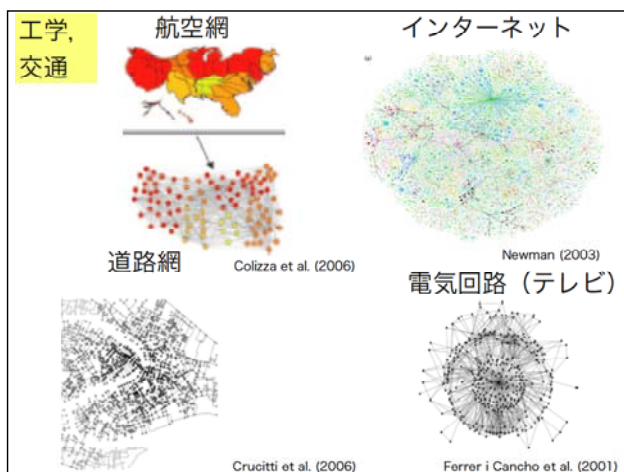
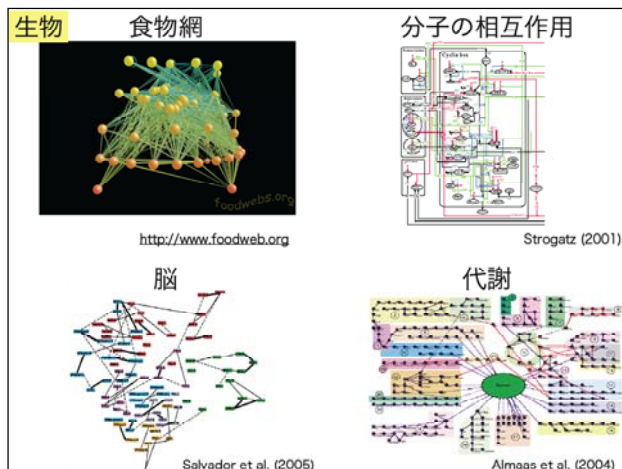
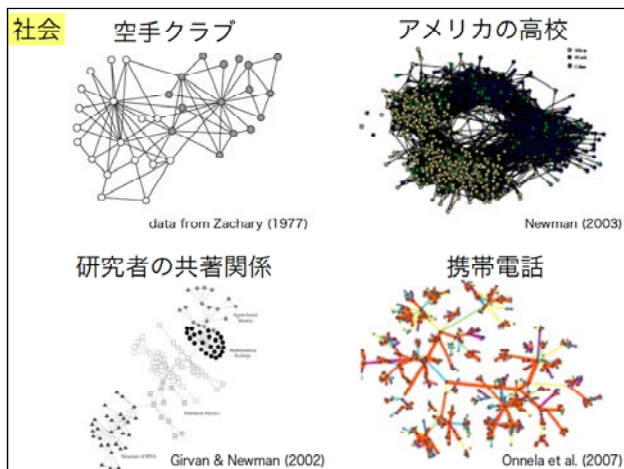
グラフ理論の誕生



(Leonhard Euler: 1707—1783)
picture from Wikipedia



Königsberg (1736)



本俯瞰区分の執筆項目

- 複雑ネットワークおよび総論
東京大学 情報理工学系研究科 増田直紀准教授
- 機械学習・データマイニング分野におけるネットワーク構造解析
東京大学 情報理工学系研究科 鹿島久嗣准教授
- ネットワークに関する離散数学
京都大学 数理解析研究所 岩田寛教授
- ネットワーク解析用ソフトウェア
東京大学 工学系研究科 橋本康弘講師

概要、注目動向(複雑ネットワーク)

概要

- 1998年頃から
- 統計物理学、生物学研究者、シミュレーション研究者の参画
- 現実志向、様々な特徴量の発見
- ネットワーク科学として、本俯瞰区分の要

注目動向

- 理論の人が応用へ、10年後に応用・産業で成果を出せるか。
- Google, Facebook などとの相互作用

9

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした機関など
日本	基礎研究	○	ノ	・理論研究や実データを用いた基礎研究が国内で行われているようになってきたのは、2004年頃であり、欧米に大きく遅れをとっている。その一方で、ネットワーク研究の代表的な論文に引用されている日本産の論文数は増加している。 ・2007年頃以降、研究者の関心が高まり、国内の大学にデータを提供したり、国内の企業への学際的な導入（一部は商品化）を行ったりしている。
	応用研究・開発	△	ノ	・日本グループが、世界に先駆ける技術で、人の脳における動きや、対人相互作用を高精度で記録するシステムを開発した。国内外の大学にデータを提供したり、国内の企業への学際的な導入（一部は商品化）を行ったりしている。
	産業化	△	一	・「例」サイロニアが、複雑ネットワーク理論に基づいて、アマゾンなどの購買サイトであるような、商品を買った際に他の商品を買わせるレコメンデーションシステムを商品化し、国内外から高く評価されている。 ・「例」などの人間関係ネットワーク解析を請け負うコンサルティングサービスは、過去10年程度の間にいくつもの会社が提供した経験がある。しかし、特筆すべき成功事例はない。
米国	基礎研究	◎	→	・1998年と1999年にそれぞれ本邦で発表された論文がネットワーク科学の萌芽であると世界的に認識されている。これらの論文は米国の産物であり、以来、米国は本分野の基礎研究を行う研究者の首領にあり、他国を圧倒している。 ・ネットワーク科学を研究する国際会議のシリーズが、米国を主体として毎年開催されている。参加者の大半が研究者である。 ・Northern Indiana 大学などに、ネットワーク科学の研究センターがある。
	応用研究・開発	◎	一	・ネットワークの基礎研究の進歩を促したような研究者が、通信システム、感染症の制御などについて、大規模プロジェクトを推進している。 ・Google 社の検索エンジンのアルゴリズムに不可欠な eigenvector が、論文のランキングについて、既存の有名な手法 (Impact Factor) の弱点を克服するものとして開発され、世界中の学術機関で使われている Web of Science というデータベースにも実装されている。

10

概要、注目動向(離散数学)

概要

- 長い伝統、電気回路、分子構造などに動機づけられて発展
- グラフ理論、グラフアルゴリズム
- 1980年代以降のグラフマイナー理論
- 計算機科学と応用分野への拡大(水・物流などのフロー、建造物の骨組み、分子の剛性など)

注目動向

- 2010年の京都賞は Prof. Lovász へ

12

概要、注目動向(機械学習)

概要

- データマイニングの一分野(リンクマイニング)
- 知識発見や予測などの動機、数々の産業化

注目動向

- ビッグデータ、グラフマイニングプロジェクト (Carnegie Mellon 大学) など
- データ供用に際する公民連携の必要性(日本)

14

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした機関など
米国	産業化	◎	ノ	・ネットワークの理論を用いて、企業組織のネットワークをコンサルティングし、生産性の向上を目指すプロトコルが、商品化されている。 ・Google の検索エンジンには、1998 年に同分野で発表されたページランクというアルゴリズムが搭載されている。ページランクはその後の Google の発展を牽引した。産業化における、ネットワークの基礎理論の最大の成功例として認知されている。 ・Facebook の中には、ネットワークの三角形を増やすようなユーザーに推薦する機能など、ネットワーク科学の知見に基づく仕組みが搭載されている。 ・Yahoo! は、ネットワークの構造解析を用いて、人材採用機能の商品化を行っている。
	基礎研究	◎	→	・特にスペインとイタリアにおいては、統計物理学の背景を持つ多くの研究者が基礎研究を行っている。ハンガリーとフィンランドも、基礎研究が盛んである。 ・スペインの Bascompte のグループは、食物網の解析、その生態学的機能等の研究において、世界をリードしている。
欧州	応用研究・開発	○	ノ	・米国の研究者と異なり、いくつかの欧州の間には、携帯電話による社会ネットワークのデータの取得と解析が2007年以降行われている。実時間の移動、マーケティング、感染症制御などへの応用可能性がある。
	基礎研究	○	→	・優秀な部分を含む統計物理学のかなり割合がネットワーク研究を行っている。そのため、上位の学術誌には、日本よりも多くの基礎研究成果が発表されている。 ・理論的なネットワークやその応用にある理論的なネットワークの研究センターとの間に近いつながりがあり、理論からあり、理論的に人員の交流が行われている。そのため、最先端の情報が入ってきている。
韓国	応用研究・開発	△	→	・韓国最大の social networking service である Cyworld と大学の提携により、その構造解析などを行っている。

13

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした機関など
日本	基礎研究	◎	ノ	・アルゴリズムのグラフマイナー理論、多品種流通問題、組合せ剛性理論において、画期的な結果が、若手研究者によって発表されている。 ・理論的なネットワークやその応用にある理論的なネットワークの研究センターとの間に近いつながりがあり、理論からあり、理論的に人員の交流が行われている。そのため、最先端の情報が入ってきている。
	応用研究・開発	△	→	・企業に就職して活躍する博士課程修了者は依然として少ない。
	産業化	○	→	・2部グラフのDM分解を用いて半導体メモリの不良を救済する方式が開発され、実用化された(東芝)。
米国	基礎研究	◎	ノ	・構造グラフ理論の研究で、他を圧倒している。 ・ネットワークゲーム理論、詳細の伝搬モデルなど、新たな問題設定で野心的な研究テーマが追求されている。
	応用研究・開発	◎	→	・IBM, Microsoft, Yahoo!, Google といった企業が、離散数学・計算機科学の分野の学位取得者の主要な就職先になっている。その中には、世界的に広げられた研究者も少なくない。 ・分子剛性予知が証明される以前から、その正当性を前提に、分子運動の自由度を解析するソフトウェアが開発されている。
	産業化	○	→	・本稿の著者を用いたルーティング方式の開発された (Bell 研究所)。
欧州	基礎研究	◎	→	・ドイツ、フランス、オランダにおいては、グラフアルゴリズム、特にパラメタ固定計算量の研究が充実している。 ・グラフ連結性に関する研究では、ハンガリーの研究者の活躍が顕著。
	応用研究・開発	○	ノ	・ドイツでは、数学の工学的応用を推進するプロジェクト MATHEON が推進され、産業界の諸問題に数学者が取り組む体制が整ってきた。
	産業化	○	→	・グラフアルゴリズムのパッケージソフトLEDAが開発されている。
韓国	基礎研究	○	ノ	・KAISTでは、Sang-il Oum が中心になって、外国人若手研究者を多数招いた活動的なグループを形成している。

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした機関など
日本	基礎研究	○	ノ	グラフ構造データを扱うデータマイニング技術については、その初期の段階から、大阪大学のチームをはじめとして日本が重要な貢献を行っている [8]。
	応用研究・開発	△	→	基礎研究と産業化の結びつきが弱い。
	産業化	○	ノ	mix等の国内ソーシャルメディアにおける友人の推薦、楽天、アマゾン等のオンラインショッピングモール等での推薦システム等、関係予備の産業利用がみられる。
米国	基礎研究	◎	ノ	当該分野を牽引する研究グループが多く存在する。Carnegie Mellon 大学の Christian Faloutsos 教授とその他の一流は大規模なグラフ解析を積極的に進めている。Stanford 大学の Daphne Koller 教授、Maryland 大学の Laszlo Getow 教授のグループ等が、統計的な関係データ解析研究を積極的に推進している。
	応用研究・開発	◎	ノ	Netflix のチャレンジが特に推薦方式の進展を加速した。また、Twitter, Facebook, LinkedIn 等の主要なソーシャルメディアの多くは米国産であることもあり、これらの研究者・エンジニアによる研究開発も盛んである。
	産業化	◎	ノ	Twitter, facebook, LinkedIn などのソーシャルメディアにおける情報推薦、Amazon.com 等のオンラインショッピングモール等における商品の推薦等、世界的に利用されているサービスにおける技術利用が盛ん。
欧州	基礎研究	○	ノ	英国に準ずる形で発展している。欧州は伝統的に論理に基づく関係データ解析に強く、帰納論理プログラミングを発展させてきた。Imperial College London の Stephen H. Muggleton 教授のグループ等多くの有力な研究グループが存在する。
	応用研究・開発	○	ノ	Mines ParisTech の J.-P. Vert のグループをはじめとして、生体ネットワークや薬物-標的ネットワーク等をターゲットとしたネットワーク解析が盛んである。
	産業化	△	ノ	欧州独自の目立った動きはない。
中国	基礎研究	△	ノ	特に目立った動きはないが、Microsoft Research Asia や南方大学からは一定数の論文が発表されている。
	応用研究・開発	△	ノ	特に目立った動きはない。
	産業化	○	ノ	海外ソーシャルメディアへのアクセスが制限されるなど、中国国内のソーシャルメディア、オンラインショッピング等が独自に進化しており、推薦等の技術が用いられていると推測される。

15

概要、注目動向(ソフトウェア)

- 概要
 - ネットワークを特徴づける諸特性量の計算機能
 - 2次元に視覚化(可視化)するための機能
- 注目動向
 - ブラウザで動作する Javascript フレームワークの開発
 - オープンソース化。R や Python などのライブラリとして開発

16

Tom Sawyer Parameterica (商用)	米・Tom Sawyer Software 社	1992
RankPlot (フリー)	米・カーネギーメロン大学	1994
Rank (フリー)*9	米・スタンフォード大学	1996
Order (フリー)	米・CAIDA 研究室	1998
Graph Template Library (GTL) (フリー)	米・ベル研究所	1999
GNA Tools (フリー)*10	米・カリフォルニア大学アーバイン校	2000
Graphviz (フリー)*6	米・AT&T 研究室	2000
NetMiner (フリー)	米・IBM 研究所	2001
Social Visualizer (商用)	オーストラリア・PMS 社	2001
SNAP (商用)	米・Agnach Systems 社	2001
Flow (商用)	米・VistaNet 社	2001
ROCKNET (フリー)	米・ダウ・ダウ・ダウ 社	2001
anna (フリー)	米・オーストラリア大学	2001
Aranda (フリー)	米・トラヴァース大学	2001
ARDA (商用)*9	米・Algorithmic Solutions Software GmbH	2002
Graph (フリー)	米・コンスタンツ大学	2002
UCINET for Windows (商用)*10	米・Analytic Technologies 社	2002
oBos (フリー)	米・Abster 社	2002
Eyescape (フリー)*11	米・Institute for Systems Biology 研究室	2002
NetDraw (フリー)	米・Analytic Technologies 社	2002
SoNA (フリー)	米・スタンフォード大学	2002
ORA (フリー)	米・カーネギーメロン大学	2002
Statnet (フリー)	米・スタンフォード大学	2002
Graph (フリー)*12	米・スタンフォード大学	2002
GLI - Large Graph Layout (フリー)*13	米・MIT 研究室	2002
Zoomgraph (フリー)	米・MIT 研究室	2004
NetMiner (商用)	米・CYRAM 社	2004
SoNetV (フリー)	ロシア・Dmitriy V. Kalamarov	2004
Graph (フリー)*14	米・スタンフォード大学	2005
JUNG (フリー)*15	米・カリフォルニア大学アーバイン校	2005
Frinder (フリー)	米・スタンフォード大学	2005
GUSSE (フリー)	米・HP 研究室	2005
Network Workbench (フリー)*16	米・インディアナ大学	2006
StarGraph (商用)	米・Peters Point Systems 社	2006
Communities (フリー)*17	米・ベル研究所	2006
OSDP (フリー)	米・ドネルソン工科大学	2007
Visual Network Analysis (商用)	米・Centrality Systems 社	2007
GraphStream (フリー)	米・ル・アヴァンテ 社	2007
NetworkX (フリー)*17	米・FAMU 研究室	2008
NodeXL (商用)	米・Microsoft Research	2008
Graph (フリー)*18	米・Graph エンジニアーズ	2008
Network (商用)	米・Graph エンジニアーズ	2008
LoFlow (商用)	米・Valdis Krebs	2009
graph-tool (フリー)	米・ダルトン・エドワーズ工科大学	2009

17

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした機関など
日本	基礎研究	△	→	ソフトウェア開発における基礎研究とプロトタイプングの差は他分野に比べて非常に小さいと考えられるため、「応用研究・開発」でまとめて述べる。
	応用研究・開発	△	→	国外で開発された定評のあるソフトウェアの日本語化プロジェクトは存在する。しかし、自前のソフトウェア開発、あるいはそれに結びつく組織的・継続的な独自の活動は見られない。
	産業化	△	→	科学・技術系ソフトウェアベンダーが商用の統計分析パッケージの一機能として一般的なネットワーク分析機能を提供するケースや、国外で開発された定評のある統計分析パッケージの輸入代理業のみがある。Big Dataへの取り組みの一環としてネットワーク分析をソリューションとして提供する企業は一定数存在するが、パッケージソフトウェアとして提供している例は見られない。
米国	基礎研究	◎	ノ	同下
	応用研究・開発	◎	ノ	歴史的にも著名な開発プロジェクトが米国の大学や研究機関を中心に多く存在し、研究者にとっての標準ツールとしてよく利用されている(表1も参照)。現在アクティブに開発が進行しているプロジェクトも多い。
	産業化	◎	→	ネットワーク分析に特化した商用ソフトウェアを提供しているベンダーが多く存在する。Microsoft Research社は表計算ソフトExcelのテンプレート機能としてネットワーク可視化ツールNodeXLを提供している。ネットワーク分析の老舗企業Tom Sawyer Software社は国際会議Graph Drawingの一貫したスポンサー企業である。
欧州	基礎研究	◎	ノ	同下
	応用研究・開発	◎	ノ	個別ではドイツ発祥の開発プロジェクトが多いものの、国際的な人材交流も活発であり、ハンガリー、イギリス、フランス、イタリア、スペイン、北欧など、大学機関を中心に特徴ある開発プロジェクトが存在する(表1も参照)。
	産業化	○	→	ネットワーク分析に特化した商用ソフトウェアを提供しているベンダーが存在する。

18

5. 討論の概要

ここでは、午前および午後の総合討論における議論、俯瞰区分ごとの質疑で交わされた議論をまとめ、整理して示す。

＜システム構築戦略研究について＞

- 「システム構築戦略研究」とは何かははっきりさせるべき（桑原）。
 - **Strategy Research**：評価されるシステムを構築するために、どういう考え方の結合・統合で、どういう技術の統合・結合でやればよいかという、構築のあり方を戦略的に考えて、その研究をすること。
 - **Strategic Research**：評価されるシステムを構築するために必要な研究について、テーマの選択や順序立て、人材、期限、予算化などを戦略的に考えて展開・推進すること。
- システム科学技術は、あくまでも実践的。きわめて具体的な実践の手順を表現したのがシステム構築戦略研究である。ソフト開発ではやられているが、ハードにも拡大すべき（木村）。
 - システムの目的は **given** であり、その目的とするシステムの機能を達成するために必要な境界条件をはっきり決める。
 - 境界条件を達成するために必要な要素を、実現可能性も考慮して、取捨選択する。
 - 実構築の計画を立て、スタート。スタート後も計画を柔軟に変更する。
- 「システム構築戦略研究」は具体例で議論すべきである。EMS の場合、エネルギー源のベストミックスはどんなポートフォリオなのか、を決めるにあたり、その前提となる戦略をシステムティックに立てる。そんな方法論が「システム構築戦略研究」だと理解している（岩橋）。
- 戦略を決めることに対してのメソドロジー（知恵の出し方）をサイエンス化しようというところも含むのがよくわからない（丸山）。
 - エスノメソドロジー、アクションリサーチ、ワークショップなど、社会学の方法論をここに書くことも可能ではないか（赤松）。
 - ソフトウェア工学、要求工学、デブオプス（DevOps：開発、運用、品質管理の新たな相互依存関係による開発方法論）などを入れてもいいのではないかと（丸山）。
- システムの構築だけでなく、運用まで含めることが大事（丸山）。
- 戦略とは、相手と戦うための謀略。システム構築に着手する際には、「最適」はすでに定義されている。わからないことが出てきた際に、その都度最適解を探るのは戦略ではない。システムは目的（機能）を持つ。それをいかに構築するか、境界条件や要素を「決める」「取捨選択をする」のが戦略である（桑原）。
- 「システム構築戦略」とは、世界で最高に評価されるシステムを構築するためのシステムのありようの戦略、あり方を設定すること（桑原）。
- システム構築ということがちゃんと定義された研究というのは戦略的に行われているからして、それを戦略研究と呼ぶと理解（武田）。

<モデリングについて>

- モデルがないシステムはない。モデルとシステムをどう関連づけているか。モデリングと、最適化や制御が同じ粒度であるのに違和感がある（土谷）。
- モデリングを広義にとればそのとおりだが、俯瞰区分としてはあえて、最適化や制御と同様の粒度で狭義に捉えている。また逆に最適化や制御も広義に捕らえればもっと広い意味も持つ（木村）。
- モデリング学というのがあったほうがいい。ただし当然それは単独であるのではなく、何に使うかということとの連携のもとにあって初めてシステム科学の一員であると思う（池田）。
- 難解な数学を使っているかではなく、現実をうまく説明できるモデルが「高度な」モデルである（土谷）。
- 制御分野では、「モデリングと制御の不可分性」（たとえば、精密な制御には精密なモデル、そうでなければモデルもある程度のものでいい）という考えがある。制御入力によってモデル誤差の影響の大きさが変わる問題の考察も必要である。モデリング学というものを構築するのなら、モデリングと予測などのように、モデルを何に使うかというターゲットを考えながらやったらいいのではないか（池田）。
- 人々の行動や思考プロセスの部分を、叙述的にではなく、かなり構造的に記述するモデルを持っていないと、人を含む社会システムの合意形成は進まない。日本は、効率的な合意形成を図ろうとする風土・文化を持っている可能性があるので、人々の行動を記述するモデル形成に強みをもてるかもしれない（水流）。
 - これからは人間や社会を記述する部分をきちんと入れないと、課題達成ができないのは間違いない（安岡）。
 - 最適化でも、実生活での最適化では、人間のバランス感覚や暗黙知などいろいろ含まれており、なんとか暫定的な目的関数を設定して使ってもらっても、納得やその後の評価が得られない。大きな溝を感じている。その溝を埋め、真の最適化空間を見せられるような最適化モデリングが今後必要と思う（池上）。

<俯瞰作業について>

- システムのコンセプトなどは、俯瞰のなかでどう位置づけられているか（赤松）。
 - システム構築方法論で、属性（レジリエンス、ロバスト等）について、触れている。また、2章冒頭で、システムの定義についても触れている（安岡）。
- 「よいシステム」かどうかは、何で評価されるのか。要素が多ければよいのか。最適化がすばらしければよいのか（赤松）。
 - それは対象ごとに異なるのではないか（木村）。
- デザインしたシステムと、創発的に生まれてくる機能・システム（ex. インターネット）とでは、違うアプローチが必要。創発的なシステムのほうは、自然システムに近い。どちらも共通に扱えるようなシステム方法論も考えていかななくてはならない（寺野）。

<俯瞰に基づいた戦略の立て方、Funding のあり方>

- 日本が強い弱いという現状の話と、戦略は別次元の話なので、よく考えて議論する必要

がある（武田）。

- 欧米で進んでおり、日本でもやるべきだというのは、高度成長期型の研究開発の選択の仕方（赤松）。
- 日本の国力を高めるという意味では、国内で新しい産業化を行ったり雇用を創出したり、という視点も重要（鎌倉）。
- Funding System について、CSTP で三つの指摘をした（武田）。
 - Funding の目的関数を明確にし、リターンを定量化、何が重要化という最適化を図る。
 - 「研究→新世界」は（簡単に）言えるが、逆にその新世界実現のために必要な、その研究以外の要素を考える。
 - ファンディング全体のポートフォリオを設計する。
- アメリカのファンディングシステムを見習うべき。細かいテーマを設定するのではなく、もっと大きな網でプロジェクトを考え、その下で自由に交流・合意形成を図れないか（木村）。
- 欧米と異なり、産学官の結びつきが日本は弱く、ひとつのテーマに真剣に協力・アタックするという形がとれていないのが最大の問題と感じる（鎌倉）。
- プロジェクトが縦割になりすぎている。分野横断的な仕掛けがほしい（土谷）。
- システム構築を目指すプロジェクトでは、当然分野横断的になる（豊内）。
- 今は、技術開発と利益回収のサイクルが非常に縮まっており、開発期間当初に設定した目標が移り変わることを内生的に扱いたい。戦略を決められない（柔軟に切り替える）ということ自体を取り込んだシステム系を考えるのがミソ。それができないと、目標どおりの製品ができたけれども、儲からなかったという代理指標で評価されておわる。陳腐化しないように目標を変える、広げていくためには、様々な分野の専門家をインテグレートする必要がある、それがシステム科学技術ではないか。ファンディングシステムや日本企業の遅い意思決定も変えていく必要がある（櫻庭）。
- 社会情勢が変わってもそれに対応できないというファンディングシステムの硬直性に関しては、CREST の EMS 領域が新しい取り組みをしてみている（豊内）。

<システム科学技術の発展の方向性・具体テーマ>

- 取り上げられている俯瞰区分は大変重要だが、個別に発展させるのではいけない。またマクロ・普遍的に議論しては、何もでてこずに終わる。解決・予測せねばならない具体的なテーマに対して、俯瞰区分が連結して議論すべき（桑原）。
- あの難問を解いてみせる、解いてみせたといったものを見せないとだめではないか（岩橋）。
- たとえば、スマートシステムで何を解決しなくてはならないか、社会の受容性予測、やりたいことのために何をビッグデータとして計測蓄積し、情報を取り出すか、など。多いとぼけるので二つぐらいでいい（桑原）。
- 俯瞰の次のフェーズなので、本 WS ではあまり取り上げなかったが、システム科学に重要な寄与する社会的な課題を発掘しなければならないと考えている（木村）。
- イノベーションという言葉は古い。システムイノベーション以外に、もっとよいキャッ

チフレーズがあるとよい（合原）。

- 何ができたら、システムイノベーションなのか、定義、課題の質で分類された具体例がほしい。今までなかったものができればいいというのは普通のシステム開発（赤松）。
- （システムという視点は）日本が世界に勝っていく1つの大きな道なので、産業界は非常に期待をしているし、自らやらなければいけないとも思っている（桑原）。

付録1. CREST EMS 領域の紹介

CREST「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」研究総括

藤田 政之（東京工業大学大学院理工学研究科 教授）

本 CREST の領域「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」の出発点の1つは、JST/CRDS システム科学ユニットが創設され活動が始まったこと、またもう1つは、第4期科学技術基本計画が始まったことである。第4期科学技術基本計画において、領域横断型の科学技術の強化が明示的にうたわれる中にシステム科学技術というキーワードが入り、また3.11の東日本大震災を受け、社会的な課題を解決するライフとグリーンの2大イノベーションに加えて復興再生を大きく取り上げるなかで再生可能エネルギーを含む分散エネルギーシステムが取り上げられた。これらの動きが意味するのは、どちらかというところから従来この国が重視してきたハードウェア中心のものづくりの世界に加えて、理論やシステムやソフトウェアを中心とすることづくりをうまく交え、さらに我が国の科学技術の力を強めていこうと考えが少しずつ世の中に浸透し、流れに変わってきたものと理解している。大学の多くの研究室においても、ものづくり側の個別の研究課題が圧倒的に多いのが正直な実感で、一つ上のシステムでそれらの研究にきちんと傘をかけることを大事にしていくということは、どれだけ声を上げても足りないと考えている。

こういった全体的な流れの中で、平成24年2月に文部科学省よりH24戦略目標が4つ発表され、そのうちの1つがいわゆるエネルギーマネジメントシステム、EMSに関連するものとなった。これまでの戦略目標は医学や生理学あるいは科学風なテーマがほとんどであった中で、異例にエンジニアリングなテーマである。この戦略目標の特徴は、再生可能エネルギーや分散協調型エネルギー管理システムというキーワードもあるが、より着目いただきたいのは、理論あるいは数理モデルというキーワードである。こういったキーワードが明示的に入った戦略目標は初めてであり、非常に大きな変化であると考えている。

この戦略目標を受け、JST 戦略的創造研究推進事業のCRESTに新しく研究領域が設定され3月22日から公募を開始したが、これまでの通常の領域とは違う面白い展開が二つある。一つは、8割方のCRESTの領域名は「基盤技術の創出」というあたりで終わっているが、この領域はそこまでではいけないというご意見をたくさんいただき、「融合展開」という部分が最後についた。これは、木村上席フェローのお話にもあったようなシステム的な思考をより深めていかなければならないと思っている。もう一つは、領域を前半と後半のフェーズに分けるというこれまでにない構造にしたことである。通常は、最大5年間の課題を、1年目に公募で数件採択、2年目、3年目も同じように公募で数件ずつ採択していき、領域全体としては7年間で終わる。しかし本領域では、ここの研究をバラバラにやるのではなく、1年目に採択された研究は3年間、2年目に採択された研究は2年間にし、領域の後半となる4年目からは、前半の小規模型のチームをもう少し統合した形で強力なチームに再編するという形の構造をとることにしている。再編の際には、1~2年目に採択された研究が必ず採択されるわけではなく、必要に応じて領域外からも参加いただくことが事前に明記されており、

非常に競争的なスタイルとなっている。よって、本領域で活躍される研究代表者、プリンシパルインベスティゲイター（PI）の方々は、課題採択されれば個別に研究を進めればよいのではなく、議論しながら領域が求める方向性に研究内容を変えていかなくてはならず、最後まで気が抜けない構造となっている。

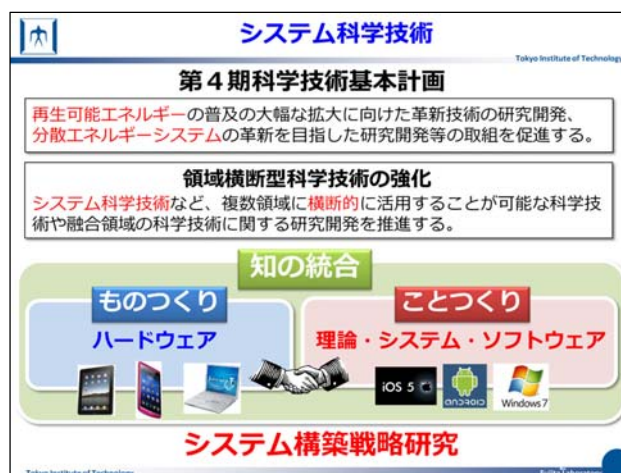
融合される領域としては、システムや制御あるいは数理モデル以外に、電力、エネルギー、また、情報・通信あるいはビッグデータといった最近のキーワードなども含まれている。エネルギーは震災後、以前にも増して社会性の高い課題となっており、いわゆるデマンドレスポンス、リアルタイムプライシングといったキーワードに関連する社会の動きに関しても詳しい先生方もアドバイザーとして組み入れている。

1年目は125件の応募があり、CRESTとしては史上最多であった。16チームが採択されたが、自然現象フィジカルに近いものから、情報・サイバーよりなものまで幅広いスペクトルをもったものとなっている。来年2年目も、おそらく10件程度は採択する方向で進むことになるので、ぜひご協力ご支援を仰ぎたい。



CREST領域「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」の紹介

東京工業大学 藤田 政之
JST CRDS 平成24年度
システム科学技術俯瞰ワークショップ
2012年10月12日



システム科学技術
第4期科学技術基本計画

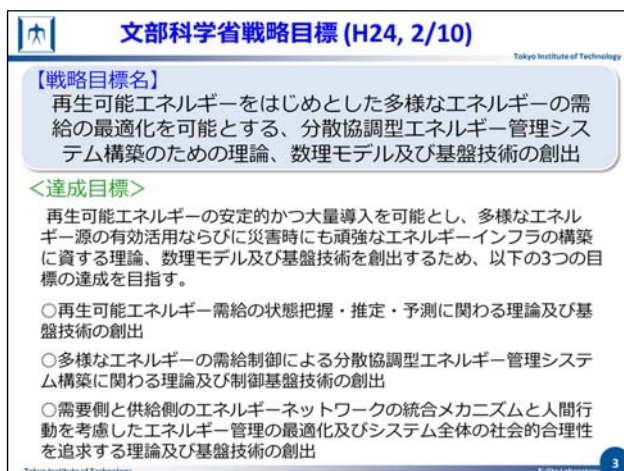
再生可能エネルギーの普及の大幅な拡大に向けた革新技術の研究開発、分散エネルギーシステムの革新を目指した研究開発等の取組を促進する。

領域横断型科学技術の強化
システム科学技術など、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進する。

知の統合

ものづくり ハードウェア
ことづくり 理論・システム・ソフトウェア

システム構築戦略研究

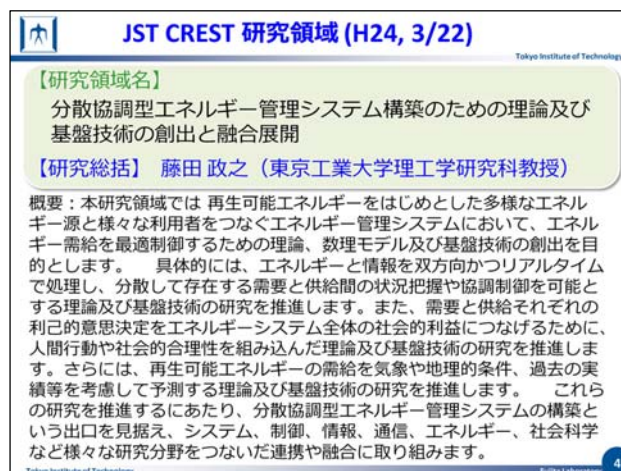


文部科学省戦略目標 (H24, 2/10)

【戦略目標名】
再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギーの需給の最適化を可能とする、分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論、数理モデル及び基盤技術の創出

＜達成目標＞
再生可能エネルギーの安定的かつ大量導入を可能とし、多様なエネルギー源の有効活用ならびに災害時にも頑強なエネルギーインフラの構築に資する理論、数理モデル及び基盤技術を創出するため、以下の3つの目標の達成を目指す。

- 再生可能エネルギー需給の状態把握・推定・予測に関わる理論及び基盤技術の創出
- 多様なエネルギーの需給制御による分散協調型エネルギー管理システム構築に関わる理論及び制御基盤技術の創出
- 需要側と供給側のエネルギーネットワークの統合メカニズムと人間行動を考慮したエネルギー管理の最適化及びシステム全体の社会的合理性を追求する理論及び基盤技術の創出



JST CREST 研究領域 (H24, 3/22)

【研究領域名】
分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開

【研究総括】 藤田 政之（東京工業大学理工学研究科教授）

概要：本研究領域では再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギー源と様々な利用者をつなぐエネルギー管理システムにおいて、エネルギー需給を最適制御するための理論、数理モデル及び基盤技術の創出を目的とします。具体的には、エネルギーと情報を双方向かつリアルタイムで処理し、分散して存在する需要と供給間の状況把握や協調制御を可能とする理論及び基盤技術の研究を推進します。また、需要と供給それぞれの利己的意思決定をエネルギーシステム全体の社会的利益につなげるために、人間行動や社会的合理性を組み込んだ理論及び基盤技術の研究を推進します。さらには、再生可能エネルギーの需給を気象や地理的条件、過去の実績等を考慮して予測する理論及び基盤技術の研究を推進します。これらの研究を推進するにあたり、分散協調型エネルギー管理システムの構築という出口を見据え、システム、制御、情報、通信、エネルギー、社会科学など様々な研究分野をつないだ連携や融合に取り組みます。

領域アドバイザー (H24, 4/16)	
領域アドバイザー	
浅野 浩志	((財)電力中央研究所社会経済研究所 所長)
足立 修一	(慶応義塾大学理工学部物理情報工学科 教授)
飯野 穂	((株)東芝スマートコミュニティ事業統括部 主幹)
岩野 和生	(三菱商事株式会社ビジネスサービス部門 顧問)
喜連川 優	(東京大学生産技術研究所 教授)
合田 忠広	(九州大学大学院システム情報科学研究院 電気システム工学科部門 客員教授)
三平 満司	(東京工業大学大学院 理工学研究科 機械制御システム専攻 教授)
杉江 俊治	(京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻 教授)
マルタ マルミロ	(三菱電機株式会社系統変電システム製作所 グループマネージャー)
山西 健司	(東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻 教授)

[illegible]

付録2. 2012 年研究開発の俯瞰報告書作成の目的と趣旨

独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター（以下、「CRDS」）は、国が行うべき研究開発の戦略立案を行い、科学技術政策立案者に提言を行っている。

CRDS では、研究開発戦略立案の基礎資料として、研究分野ごとの俯瞰ワークショップ報告書や俯瞰図の作成、分野別の「科学技術・研究開発の国際比較」の実施などを行ってきた。平成 23 年度からは、これらを総括的にまとめた「研究開発の俯瞰報告書」を CRDS の成果の一つとして作成する。「研究開発の俯瞰報告書」は、政策立案コミュニティおよび研究開発コミュニティと CRDS との継続的な対話を通じて把握できる研究開発の大きな流れについて、統計データや主要国の研究開発戦略などの補完データを活用しながら、CRDS フェローがまとめるものである。

表 1 2012 年研究開発の俯瞰報告書 全体の構成

章	記載項目	説明
	エグゼクティブサマリー(和文・英文)	政策決定者（文部科学省の政策担当課長レベル以上を想定）がこれだけで直ちに分野の特徴を理解できるように、最重要事項に絞って明確に記す。2 ページ以内を目安とする。本文のほか、代表的な俯瞰図の英文も作成。
1	目的と構成	JST 研究開発戦略センター（CRDS）で共通に準備した文章を記載。何らかの理由で構成に変更を加えた場合は、その構成にあった説明を作成する。
2	俯瞰対象分野の全体像	CRDS が俯瞰の対象とする科学技術分野をどのように設定し、その分野の状況がどのようになっているかを、俯瞰図とともに的確かつ簡潔に記載する。
	2.1 分野の範囲と構造	分野の定義、俯瞰の枠組および俯瞰区分（仮）を記載する。その分野のとらえ方の哲学を書くことになる。分野の俯瞰図はここに掲載する。分野の構造を示すことがそのまま範囲の説明になる場合もある。
	2.2 分野の歴史、現状、及び今後の方向性	分野全体の大きな流れをとらえ、それを的確かつ簡潔に記載する。
3	研究開発領域	当該分野の主要な研究開発領域をリストアップし、それぞれの具体的な内容について記載するとともに、主要各国（日・米・英・独・仏・韓・中・欧を原則とし、それ以外は必要に応じて追加）の状況を調査し、国際比較を行う。 研究開発領域は、研究開発プロジェクトになりうるサイズ（CREST の領域程度）で挙げる。5 ページ（国際比較表は 2 ページ以内）／領域を目安に記載。具体的な記載項目を以下に記す。 (1) 研究開発領域名、(2) 研究開発領域の簡潔な説明、(3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向、(4) 科学技術的・政策的課題、(5) 注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）、(6) キーワード、(7) 国際比較、(8) 引用資料
	専門用語説明	非専門家にも分かりやすいように、専門的な用語や略語について説明をつける。より詳しく説明する場合は、本文中コラムとしてもよい。

付録3. システム科学技術分野 俯瞰作業の概要

1. 階層と用語の定義について

用語	用語の定義	システム科学	他分野の例
分野 - Field	俯瞰対象分野の名称	システム科学	電子情報通信、ナノテク・材料、環境・エネルギー、ライフサイエンス・臨床医学など
俯瞰区分 - Semantic Segment	俯瞰の枠組の構成要素としてCRDSにより設定される区分	①システム構築方法論、②意志決定とリスクマネジメント、③モデリング、④制御、⑤最適化、⑥ネットワーク論（俯瞰図第2層を参照）	ビッグデータ、グリーンナノ、元素戦略、Health IT、ディペンダビリティ など
研究開発領域 - Discipline	一定の学術的知識や方法論が体系化されているカテゴリ ※体系化されようとしている臨時領域も含む	上記①～⑥の俯瞰区分ごとに、俯瞰図第3層を作成し、そのなかから主たる領域を選択	データマイニング、スピントロニクス、医療データベース、バイオマス生産 など

2. H23～H24 年度のシステム科学技術分野の俯瞰活動について

H22 年度に作成した俯瞰図にもとづき、H23～24 年度に優先して調査を行う俯瞰区分を6つ選択した。

システム科学技術俯瞰検討会を開催し、俯瞰区分同士の関係性や境界、俯瞰図第3層、研究開発領域等について議論を行った（表2、図3、図4を参照）。

各俯瞰区分において、必要に応じて分科会も開催しながら、研究開発領域と執筆担当有識者を議論し、執筆依頼を行った（付録4を参照）。

3. システム科学技術分野の俯瞰図（第1層～第3層）

第1層：諸分野の中でのシステム科学技術の位置付け

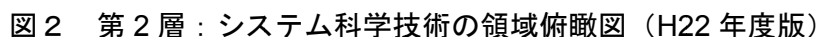
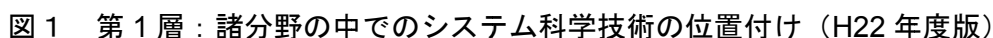
第1層では、人文科学、社会科学も含めた諸分野の中でのシステム科学技術の位置付けの明確化を試みている。

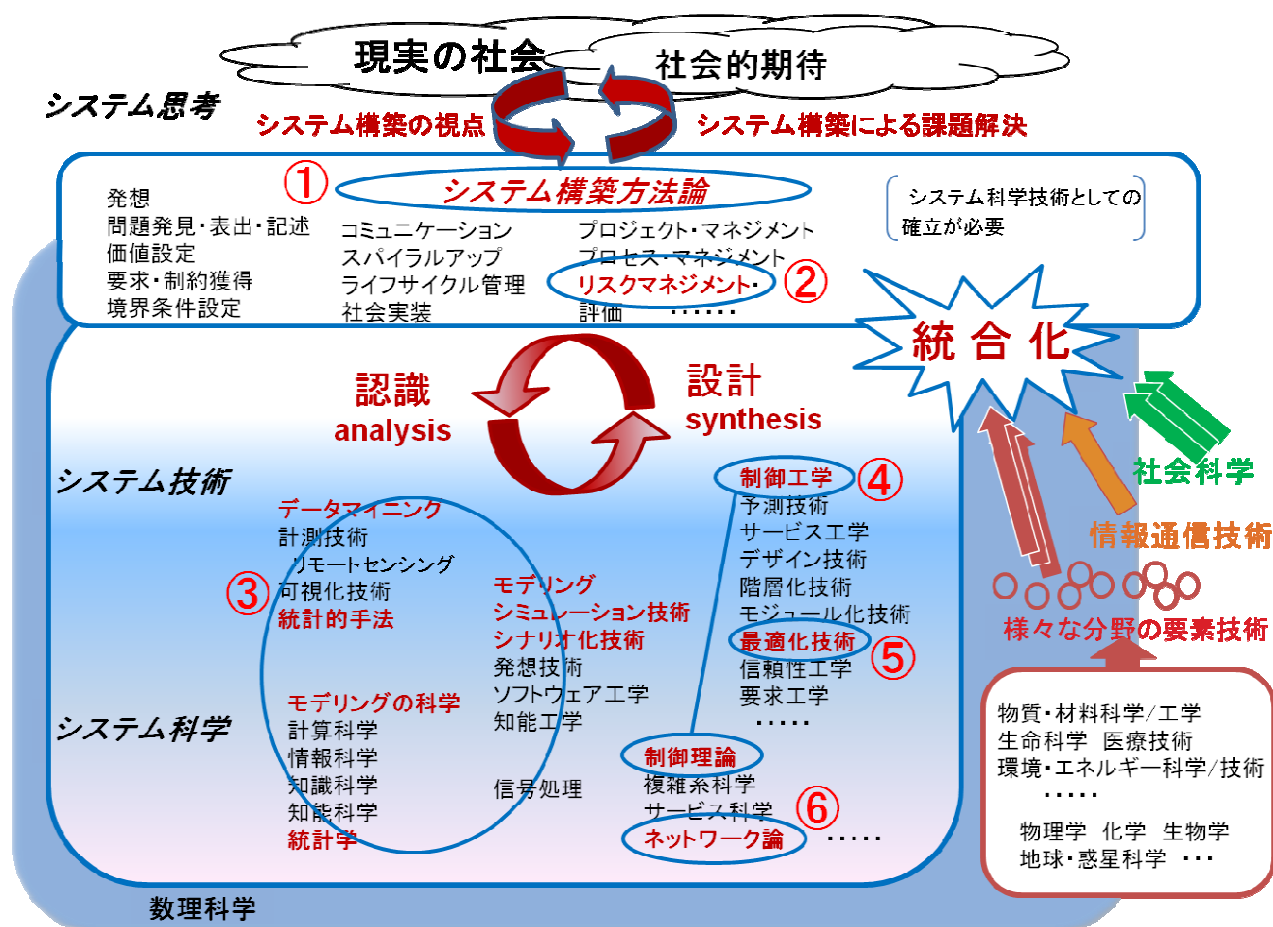
第2層：システム科学技術の領域俯瞰図

第2層では、システム構築による課題への対応という視点から、課題の認識とシステム構築に向けた設計という枠組みに基づいて、システム科学技術に含まれる研究領域を詳細化。さらに、システム科学技術が、様々な要素技術や諸分野の統合化において重要な役割を果たすという点も併せた表現を試みている。

第3層：システム科学技術の主要研究分野の俯瞰図

システム科学技術において特に重要な役割を果たす領域を、H23年度の優先俯瞰区分として選択し、第3層として、各々についてより詳細な俯瞰図を作成。なお、モデリングおよび制御の領域は、H22年度の成果をもとに、今年度さらに検討を加えたものである。





付録3 システム科学技術分野
俯瞰作業の概要

図3 H23 年度優先俯瞰区分の設定

表2 優先俯瞰区分と領域代表者（俯瞰検討会委員）

No.	俯瞰区分名	俯瞰区分代表者(検討会委員)
①	システム構築方法論	安岡 善文 CRDS フェロー
②	意思決定と リスクマネジメント	津田 博史 同志社大学 理工学部 教授 (CRDS特任フェロー)
③	モデリング	椿 広計 統計数理研究所 副所長・教授 (CRDS特任フェロー)
④	制御	内田 健康 早稲田大学 理工学術院 教授
⑤	最適化	杉原 正顕 東京大学 情報理工学系研究科 教授
⑥	ネットワーク論	増田 直紀 東京大学 情報理工学系研究科 准教授



図 4-1 俯瞰区分-意志決定とリスクマネジメント 第3層俯瞰図案

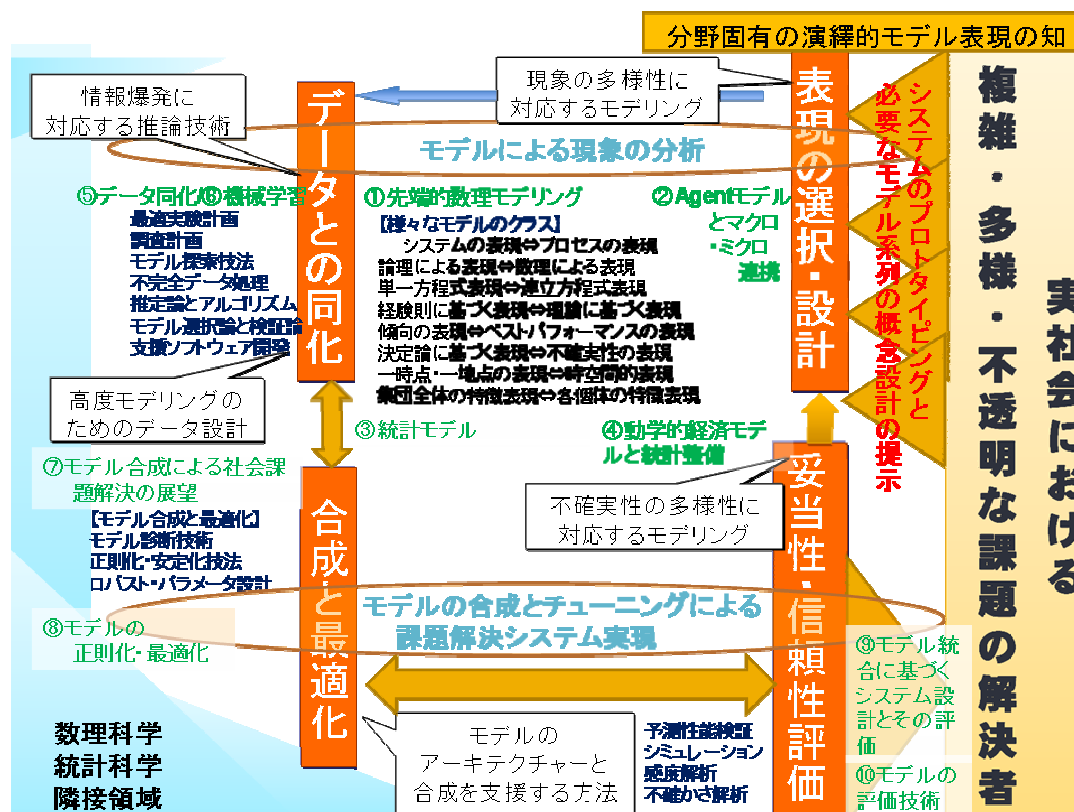


図 4-2 俯瞰区分-モデリング 第3層俯瞰図案



図 4-3 俯瞰区分-制御理論・制御工学 第3層俯瞰図案



図 4-4 俯瞰区分-最適化 第3層俯瞰図案

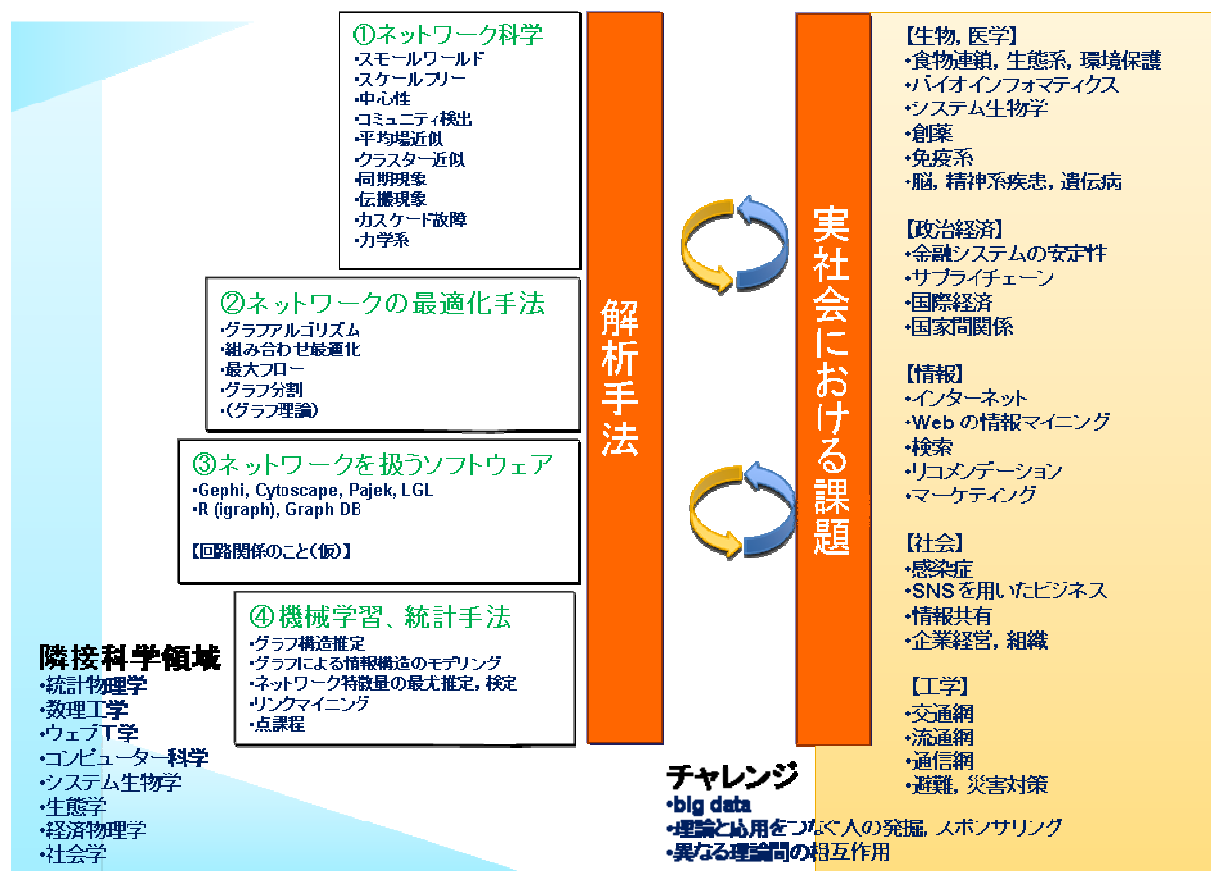


図 4-5 俯瞰区分-ネットワーク論 第3層俯瞰図案

付録4. 研究開発領域および執筆担当者一覧

1. システム構築方法論

研究開発領域は設定せず、第2章の中で、システム構築方法論について記述する。

2. 意思決定と リスクマネジメント

(敬称略)

全体総括	津田博史	教授	(同志社大学)
・リスクの下での意思決定	林 高樹	教授	(慶應義塾大学)
・リスク概念と尺度	中川秀敏	准教授	(一橋大学)
・統合・複合リスク・その他リスク	室町幸雄	教授	(首都大学東京)
	津田博史	教授	(同志社大学)
・市場リスク	中妻照雄	教授	(慶應義塾大学)
・信用リスク	中川秀敏	准教授	(一橋大学)
・リスクマネジメントの数値計算	中妻照雄	教授	(慶應義塾大学)

3. モデリング

全体総括	椿 広計	教授	(統計数理研究所)
・先端的数理モデリング	田中剛平	特任准教授	(東京大学)
・Agent モデルとマクロ・ミクロ連携	倉橋節也	准教授	(筑波大学)
・統計モデル	椿 広計	教授	(統計数理研究所)
・動学的経済モデルと統計整備	桜庭千尋	審議役	(日本銀行)
・データ同化:新しい戦略分野の開拓	吉田 亮		(統計数理研究所)
・データマイニング・機械学習	小野田崇	領域リーダー	(電力中央研究所)
・モデル合成による社会課題解決の展望	増井利彦	室長	(国立環境研究所)
・モデルの正則化・最適化	池田思朗		(統計数理研究所)
・モデル統合に基づくシステム設計とその評価	大畠 明	理事	(トヨタ自動車)
・モデルの評価技術	鎌倉稔成	教授	(中央大学)

4. 制御

全体総括	内田健康	教授	(早稲田大学)
・学習制御／適応制御	金子 修	准教授	(金沢大学)
・ロバスト制御	藤崎泰正	教授	(大阪大学)
・最適制御／予見制御／予測制御	大塚敏之	教授	(大阪大学)
・分散制御／分布制御	滑川 徹	准教授	(慶應義塾大学)
・合意・同期・被覆制御	藤田政之	教授	(東京工業大学)
・大規模・ネットワーク制御	石井秀明	准教授	(東京工業大学)
・確率システム制御	加嶋健司	准教授	(大阪大学)
・故障検出／信頼性設計	加納 学	教授	(京都大学)
・制御の基盤としてのシステム理論	平田研二	准教授	(長岡技術科学大学)

5. 最適化

全体総括	杉原正顯	教授	(東京大学)
・基礎分野としての最適化	土谷 隆	教授	(政策研究大学院大学)
・連続的最適化	村松正和	教授	(電気通信大学)
・離散的最適化	岩田 覚	教授	(京都大学)
・最適化計算	藤澤克樹	教授	(中央大学)
・最適化モデリング	池上敦子	教授	(成蹊大学)
・最適化ソフトウェアと応用	田辺隆人	部長	(株)数理システム)

6. ネットワーク論

全体総括	増田直紀	准教授	(東京大学)
・複雑ネットワークおよび総論	増田直紀	准教授	(東京大学)
・機械学習・データマイニング分野における ネットワーク構造解析	鹿島久嗣	准教授	(東京大学)
・ネットワークに関する離散数学	岩田 覚	教授	(京都大学)
・ネットワーク解析用ソフトウェア	橋本康弘	講師	(東京大学)

■報告書作成メンバー■

木村 英紀	上席フェロー	(システム科学ユニット)
安岡 善文	フェロー	(システム科学ユニット)
寺野 隆雄	フェロー	(システム科学ユニット)
金子 健司	フェロー	(システム科学ユニット)
豊内 順一	フェロー	(システム科学ユニット)
武内 里香	フェロー	(システム科学ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2012-WR-08

ワークショップ報告書

「2012年度システム科学技術俯瞰ワークショップ報告書」

平成 25 年 2 月 February 2013

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター システム科学ユニット
Systems Science Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地

電 話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

©2013 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

