

平成 28 年度科学技術総合研究委託事業
科学技術イノベーション政策における
「政策のための科学」推進事業における超スマート社会を支える
基盤技術に関する海外動向の調査分析
業務成果報告書

平成 29 年 3 月

みずほ情報総研株式会社

1.	調査の目的及び実施方法.....	1
1.1.	調査の目的.....	1
1.2.	調査の実施方法.....	1
1.2.1.	ベンチマーク調査.....	1
1.2.2.	社会受容の醸成に向けた取組事例に関する調査.....	2
2.	ベンチマーク調査.....	4
2.1.	技術の体系化.....	4
2.1.1.	技術の体系化の基本的な考え方.....	4
2.1.2.	検索対象とする論文誌・国際会議等の特定.....	8
2.2.	技術力調査.....	10
2.2.1.	論文数に基づく調査.....	10
2.2.2.	特許に基づく技術力調査.....	26
2.2.3.	論文数・特許出願数以外の情報源による技術力調査.....	35
2.3.	注力分野調査.....	46
2.3.1.	概要・分析手法.....	46
2.3.2.	米国.....	47
2.3.3.	日本.....	50
2.3.4.	中国.....	53
2.3.5.	同一指標による国別比較.....	56
3.	社会受容の醸成に向けた取組事例に関する調査.....	58
3.1.	新技術に対する社会受容の醸成に向けた取組事例の調査.....	58
3.1.1.	対象国の選定.....	58
3.1.2.	調査対象.....	58
3.1.3.	新技術に対する社会受容の醸成に向けた取組事例の調査 社会的観点.....	58
3.1.4.	我が国での取組.....	64
3.2.	新技術に対する社会受容の醸成に向けた取組事例の調査 技術的観点.....	66
4.	まとめ.....	67

1. 調査の目的及び実施方法

1.1. 調査の目的

文部科学省は関係機関と連携し、科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」を推進している。本事業では、経済・社会等の状況、社会における課題とその解決に必要な科学技術の現状と可能性を多面的な視点から把握しながら、客観的根拠（エビデンス）に基づき、合理的なプロセスにより政策を形成することの実現を目的としている。

本委託業務では、まず、超スマート社会を支える基盤技術（図 1.1）のうち、ビッグデータを扱うサイバーセキュリティ技術、ビッグデータ解析技術、人工知能技術に対して、技術力及び注力分野の観点から、諸外国とのベンチマーク調査を実施する。

次に、ベンチマーク調査の結果から我が国よりも先進性を有する国を選定した上で、新技術に対する社会受容の醸成に向けた取組事例を調査するとともに、日本に示唆があると思われる事例を収集し、要因分析まで実施する。

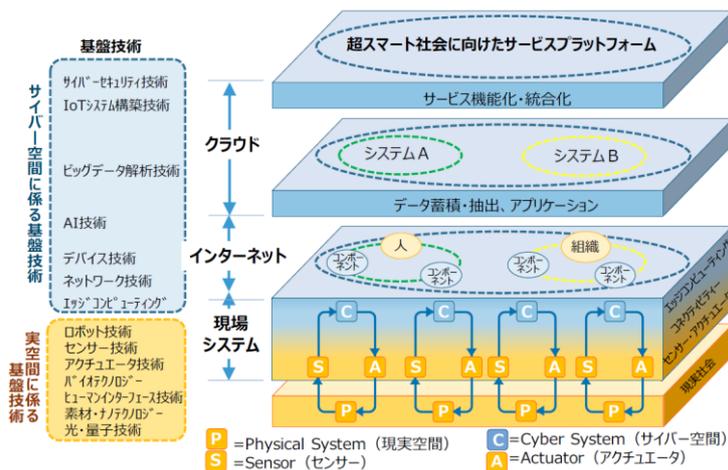


図 1.1 超スマート社会を支える基盤技術第5期科学技術基本計画参考資料集（第2章）
超スマートサービスプラットフォームのシステムイメージ

1.2. 調査の実施方法

1.2.1. ベンチマーク調査

政府機関等による投資が活発な対象国・地域に対し、サイバーセキュリティ技術、ビッグデータ解析技術、人工知能技術を対象に、技術力及び注力分野の観点から、諸外国とのベンチマーク調査を実施する。

調査分析の視点として、技術力及び注力分野の視点から実施する。

■ 技術力

論文数、特許出願数の推移等のデータを基に、各国における強い分野、弱い分野の分析を実施した。

なお、論文、特許のデータベース検索の際には、分野の範囲を規定するものとしてキーワードリストの設定が重要であるため、各分野の辞典等を参考に技術体系を整理し、有識者へヒアリングを行うことにより妥当性を確認した。

人工知能については、深層学習への取組み方が今後の技術力の評価において重要な要素の一つと考えられる。先端的な深層学習分野において最有力の企業の一つである Google DeepMind について、Publication リストを分野別に分類した。

■ 注力分野

政府投資額、民間投資額の推移等のデータを基に、各国における注力分野の分析を実施した。

1.2.2. 社会受容の醸成に向けた取組事例に関する調査

我が国よりも先進性を有する国を選定した上で、新技術に対する社会受容の醸成に向けた取組事例を調査するとともに、日本に示唆があると思われる事例を収集し、要因分析まで実施した。

(1) 対象国の選定

サイバーセキュリティ技術、ビッグデータ解析技術、人工知能技術の分野において、我が国より先進性が見受けられる国として、米国および英国を選定した。先進性を一般的に定義することは困難であるため、個別分野での研究開発における各国の状況から定性的に先進性の判断を実施した。以下に各々の選定理由を示す。

米国は、サイバーセキュリティへの国としての取組みのレベルを評価する The Global Cybersecurity Index(GCI)¹において1位であるとともに、創薬分野における The Precision Medicine Initiative、脳科学分野における The Brain Initiative など、様々な分野におけるビッグデータの取得と解析を国家として推進している。民間部門においても、Google、Facebook、Microsoft 等のいわゆる情報系企業を中心にビッグデータの解析に係るデータベース技術の研究開発が行われている。さらに、人工知能分野においても、深層学習への取組みにおいて Google 等の情報系企業や Stanford 大学、MIT 等の大学において研究開発は活発である。

英国は、GCI において5位であるとともに、人工知能の研究開発において AlphaGo など先端的な研究を多く実施している Google DeepMind も存在するため、対象国として選定した。

さらに、国ではないが、EU においてロボット技術について議論が行われているため、調

¹ 国際電気通信連合 (International Telecommunication Union; ITU) , “Global Cybersecurity index & cyberwellness profiles,” 2015. ITU Webpage. (2017年3月閲覧) <https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/str/D-STR-SECU-2015-PDF-E.pdf>

査対象に加えた。

(2) 調査対象

社会受容に向けての課題と解決方法には、社会的観点（法律・制度等）と技術的観点（課題を克服する技術）が存在するとの観点から、調査対象の範囲を設定した。社会受容の醸成に向けた社会的観pointsの課題の例としては、人工知能に係る倫理、雇用喪失の問題、技術的観pointsの課題は、倫理のうち説明責任に係る技術的課題（説明可能な人工知能）が潜在的には存在し得ると考えられるため、このような内容を含む可能性のある事例について探索を実施した。

なお、論文・特許のデータベースを用いたベンチマーク調査に必要となるサイバーセキュリティ分野、ビッグデータ解析分野、人工知能分野の技術の体系化の参考とするため、次の有識者にヒアリングを実施した。

■ ビッグデータ・サイバーセキュリティ分野

ヒアリング対象者 : 電気通信大学情報理工学域 I 類コンピュータサイエンスプログラム 沼尾雅之教授
ヒアリング日時 : 2016年11月26日 13:30-14:30
ヒアリング場所 : 電気通信大学沼尾研究室

■ 人工知能分野

ヒアリング対象者 : 東北大学 工学部電気情報物理工学科 岡崎直観准教授
ヒアリング日時 : 2016年11月16日 15:00-16:00
ヒアリング場所 : 東北大学岡崎研究室

2. ベンチマーク調査

2.1. 技術の体系化

各国の研究開発の活発度の測定等の目的のために論文、特許等のデータベース検索により定量的な統計情報を取得して比較を実施する際には、まず対象とする学問・技術の分野について、該当分野全体の定義と、その細分化された分類の定義のために、各々を検索キーワードのリストとして設定しておくことが重要である。

そのため、事前に、サイバーセキュリティ分野、ビッグデータ解析分野、人工知能分野の各々について、キーワードリストの設定を行った。

2.1.1. 技術の体系化の基本的な考え方

サイバーセキュリティ分野、ビッグデータ解析分野、人工知能分野の各々について、上記の体系化のために、既存の体系を参考に本調査における検索キーワードの体系化を実施した。キーワードリストの妥当性は、有識者へのヒアリング等により担保するとともに、文部科学省との協議の上決定した。

また、検索対象として、各分野の主要な論文誌・国際会議の同定を実施する。これにより、技術力の評価にあたって、高い影響力を持つ論文数で比較することが可能となる。また、各分野において、中分類や小分類のキーワードのみで検索を用いると、意図する対象を外れた論文等がヒットしてしまう場合があるため（例えば、“**planning**”で検索した場合、人工知能における計画のアルゴリズムと無関係なものもヒットしてしまう）、分野毎の主要な論文誌・国際会議の同定が有効である。これらの理由から、最初に各分野の全体集合を論文誌・国際会議のリストとして同定するための「共通」キーワードの設定も実施した（無関係な対象を含まないようにするため、各分野の典型的なキーワードのみのリストとする）。

以下、各分野についてキーワードの体系化にあたって参考とした情報を記す。

サイバーセキュリティ分野においては、内閣サイバーセキュリティセンター（National center of Incident readiness and Strategy for Cybersecurity; NISC）による「情報セキュリティ研究開発戦略（改訂版）」²に示されている情報セキュリティの研究開発における重要分野を参考にキーワードリストを設定した。

ビッグデータ解析分野については、Cloud Security Alliance（CSA）の Big Data WorkingGroup が策定している”Big Data Taxonomy”³をもとに、ヒアリング結果等も参考にしてキーワードリストを設定した。

人工知能分野においては、「人工知能学事典」⁴における人工知能の分類体系を参考に体系化を行った。

次頁以降に、各分野の検索に用いたキーワード体系を示す。

² 情報セキュリティ政策会議「情報セキュリティ研究開発戦略（改訂版）」（2014年7月10日）、内閣サイバーセキュリティセンター ウェブページ（2017年3月閲覧）<<https://www.nisc.go.jp/active/kihon/pdf/kenkyu2014.pdf>>

³ Cloud Security Alliance Webpage.（2017年3月閲覧）<https://cloudsecurityalliance.org/group/big-data/#_downloads>

⁴ 人工知能学会編「人工知能学事典」（共立出版、2005年）。

表 2.1 ベンチマーク調査 – 技術の体系化 サイバーセキュリティ

大項目	中項目	小項目	キーワード	共通
(1) 情報通信システム全体のセキュリティ	① サイバー攻撃の検知/防御	ネットワークポロジ-特性解析 行動特性解析 通信頻度特性解析 攻撃検知 脅威に対するリスク評価 マルウェア解析 攻撃予測検知 手口感染経路解析 予防抑制(侵入異常対策) 被害影響の局限化 被害回復力の強化 収集情報手法	"Cyber Attack detection" OR "Cyber Attack defense" "Network Topology Analysis" OR "frequency analysis" "Risk assessment" OR "Malware analysis" "Anomaly Detection"	
	② ID連携/認証/アクセス制御	なりすまし対策のための認証技術 ID連携のための認証技術(認証要素管理技術) 生体認証技術 通信相手制限技術 クレンジン クレディシヤル管理 認証プロセス アサーション(認可)	"Spoofing" OR "Certification" OR "Authentication" OR "biometrics" OR "Token" OR "Credential" OR "Assertion"	
	③ ネットワークセキュリティ	端末間通信の脆弱性検知 アドホック型ネットワークセキュリティ クラウド不正アクセス防止技術	"Device to Device" OR "Ad hoc" OR "Cloud" OR "unauthorized access" OR "hacking"	
	④ ITサービスのセキュリティ	システムセキュリティ管理技術 多層防御、組合せ対策	"System administration" OR "Security Management" OR "Defense in depth"	
(2) ハードウェアソフトウェアのセキュリティ	⑤ 制御システムセキュリティ	制御機器通信脆弱性検知 制御機器通信セキュリティレベル設定	"vulnerability" OR "Control device" OR "embedded device"	
	⑥ セキュリティデバイス	ICカードセキュリティ対策 USBメモリセキュリティ対策 スマートフォン向け不正アプリ検出	"device" OR "IC" OR "USB" OR "Android" OR "iOS"	
	⑦ ソフトウェアの安全性確保	ソフトウェア安全評価 ソフトウェア脆弱性検知 脆弱性を作りこまないソフトウェア開発技術(実装上の安全性向上) 別業装攻撃対策 リバーエンジニアリング	"Software vulnerability detection" OR "Software safety assessment" OR "reverse engineering" OR "Re-identification"	"cyber security" OR "information security" OR "cyber attack" OR "network security" OR "device security" OR "software vulnerability detection" OR "software safety assessment" OR "digital forensics" OR "encryption"
(3) データ及びデータ管理のセキュリティ	⑧ プライバシー保護/パーソナルデータ活用のための技術	自律管理性向上 データ保護レベルやポリシー管理設定管理 PQDM/プライバシー保護状態を計算可能とする秘密匿名化技術) 再識別化防止 匿名性強度向上 隠蔽化強度向上	"Privacy protection" OR "Privacy preserved data mining" OR "Anonymity" OR "Obfuscation"	
	⑨ フォレンジック等を支援するためのデータ管理追跡技術	デジタルフォレンジック 破壊データからのデータ復元技術 活動追跡技術 データ推定検証する技術 データが改ざんでないよう記録する技術 データ同一性を保全技術(ハッシュ値生成やデジタル署名)	"digital forensics" OR "Data destruction" OR "Hash" OR "digital signature"	
(4) セキュリティ基盤技術	⑩ 基礎研究	海外動向、国際情勢分析 ITリスク管理理論、実務 統合的リスク管理 重大問題発生時のリカバリ手法、レジリエンス確保 非常時用セキュリティ、リスクコミュニケーション 見える化 セキュリティ対策投資効果測定 ヒューマンファクター ソーシャルエンジニアリング 内部犯行 次置ログ解析	"human" OR "resilience" OR "social engineering" OR "Return on investment" OR "Log"	
	⑪ 暗号技術	暗号プリミティブ 暗号利用モード 量子暗号技術の開発 暗号化状態処理 暗号化強度の向上 暗号危険化対策 クラウドサービス特化暗号化手法	"encryption"	
	⑫ 標準化/評価/制度/基盤整備	情報セキュリティに係る技術の標準化 国際標準化(デジタル標準及びデータ標準を含む) プロトコルの開発 セキュリティ評価体系の確立 法律や制度の分析及び整備 テストベッド、研究データ整備 安全性評価手法 リスクマネジメントの高度化	"standard" OR "de facto" OR "de jure" OR "protocol" OR "risk management" OR "risk assessment"	

表 2.2 ベンチマーク調査 – 技術の体系化 ビッグデータ解析

大項目	中項目	小項目	キーワードリスト	共通
データ構造 Structure	①構造化データ Structured Data	・リレーショナル・データベースやスプレッドシート ・小売、金融、バイオインフォマティクス、地理データ	"Structured Data" OR "retail" OR "financial" OR "bioinformatics" OR "geographic data"	
	②準構造化データ Semi-Structured Data	構造化データと非構造化データの組合せ ・タグ付けされた非構造化データ ・ウェブログ、電子メール、ドキュメント ・etc.	"Semi Structured Data" OR "web log" OR "e-mail" OR "document"	
	③非構造化データ Unstructure Data	・画像、動画、センサーデータ、ウェブページ、電子メール、波形データ ・etc.	"Unstructure Data" OR "image" OR "movie" OR "sensor" OR "Sensing data" OR "web" OR "waveform" OR "document"	
データベースタイプ	④RDB	・リレーショナル	"database" AND ("RDB" OR "Relational Database" OR "relational")	
	⑤NoSQLDB	・ドキュメント指向 ・Key-Value ・Big Table ・Dynamo inspired ・グラフ指向	"database" AND ("NoSQL" OR "document oriented" OR "document store" OR "key value" OR "big table" OR "dynamo inspired" OR "graph oriented")	
	⑥NewSQLDB	・NewSQL ・インメモリ	"database" AND ("newSQL" OR "IMDB" OR "in-memory")	
計算処理	⑦A バッチ処理 Batch Processing ※高いレイテンシー	MapReduce, Apache Hadoop, S4, SAP Hana, GridGain, Graph, Pregel	"Batch Processing" OR "mapreduce" OR "MapReduce" OR "Apache Hadoop" OR "S4" OR "SAP Hana" OR "GridGain" OR "graph" OR "Pregel"	
	⑧ストリーミング処理 Stream Processing ※低いレイテンシー	Apache Storm, Apache Spark, Kinesis, MapR, Infosphere	"Stream Processing" OR "Apache Storm" OR "Apache Spark" OR "kinesis" OR "MapR" OR "infosphere"	
データ・コンテンツ分野	⑨金融サービス Financial services	・金融取引モニター ・etc.	("financial" OR "stock") AND ("monitor")	"Knowledge discovery" OR "data mining" OR "Data Engineering" OR "Social Network Analysis" OR "Big Data" OR "bigdata" OR "Very Large Databases" OR "Knowledge Management" OR "data management"
	⑩小売 Retail	・感情分析 ・行動分析 ・etc.	("retail" OR "trade") AND ("Sentiment analysis" OR "Behavior analysis")	
	⑪ネットワーク・セキュリティ Network security	・セキュリティイベント・モニター ・不正検出 ・ターゲット型攻撃 ・マルウェア ・ウイルス攻撃 ・etc.	"Network security" AND ("monitoring" OR "Fraud detect" OR "Malware" OR "virus" OR "target attack")	
	⑫大規模科学 Large-scale science	・バイオインフォマティクス ・高エネルギー物理 ・etc.	("science" OR "bioinformatics") AND ("Extract" OR "patterning" OR "data mining" OR "pattern extract")	
	⑬ソーシャルネットワーク Social networking	・トレンド分析 ・クエリ処理 ・ビッググラフにおける頻出パターン抽出 ・コミュニティ抽出 ・ノードと社会行動の結びつき ・動的ネットワーク上のノード抽出 ・Web, Twitter, Facebookなどのネットワークの共通基盤マ ・インテグレーションの開発 ・etc.	("SNS" OR "social networking" OR "social network service") AND ("trend analysis" OR "Query process" OR "Extract" OR "patterning" OR "data mining" OR "pattern extract")	
	⑭Internet of Things/セン サネットワーク Internet of Things/sensor networks	・侵入検知 ・長期トレンド分析 ・天気予報 ・装置制御システム ・産業用装置、ロジシステムの最適化 ・etc.	("IoT" OR "Internet of things" OR "Sensor networks") AND ("detect" OR "trend analysis" OR "control" OR "optimize" OR "optimise" OR "forecast")	
	⑮視覚メディア Visual media	・画像認識、音声認識 ・画像検出 ・etc.	("media" OR "image" OR "voice" OR "sound") AND ("recognize" OR "recognise" OR "detection" OR "extraction")	
	⑯ネットワーク・ゲーム/電子 商取引	・推移予測 ・公告最適化 ・リアルタイム入札 ・etc.	("network game" OR "e-commerce" OR "electronic commerce") AND ("optimize" OR "optimise" OR "predict")	

表 2.3 ベンチマーク調査 – 技術の体系化 人工知能（知能ロボット、機械学習含む）

大項目	小項目	キーワードリスト	共通
①人工知能基礎	探索、プランニング、制約充足、最適化、不確実性、複雑ネットワーク	“search” OR “planning” OR “optimization” OR “complex network”	“artificial intelligence” OR “machine learning” OR “neural network” OR “pattern recognition” OR “knowledge base” OR fuzzy OR NLP OR “natural language processing” OR “speech recognition” OR “image recognition” OR “character recognition”
②知識表現・論理・推論	論理・推論、知識表現、意味ネットワーク、フレーム表現、Conceptual Graph、演繹推論、定理証明、アブダクション、プロダクション、手続き的知識、宣言的知識	“inference” OR “knowledge representation” OR “semantic network” OR “frame representation” OR “conceptual graph” OR “deduction” OR “abduction” OR “proof” OR “production” OR “procedural knowledge” OR “declarative knowledge”	
③知識モデリング	知識工学、オントロジー、知識ベース、ルールベース、知識獲得	“knowledge engineering” OR “ontology” OR “knowledge base” OR “rule based system” OR “knowledge acquisition” OR “knowledge discovery” OR “knowledge modeling”	
④機械学習	分類学習、クラスティング、深層学習、強化学習、データマイニング、テキストマイニング、可視化	“machine learning” OR “classification” OR “clustering” OR “deep learning” OR “reinforcement learning” OR “data mining” OR “text mining” OR “visualization”	
⑤進化・創発	遺伝的アルゴリズム、遺伝的プログラミング、進化学習、人工生命、セルオートマトン	“genetic algorithm” OR “genetic programming” OR “evolutionary computation” OR “artificial life” OR “cellular automaton”	
⑥自然言語処理	自然言語理解、対話処理、意図・談話理解、機械翻訳、情報検索・抽出・分類、要約、質問応答システム	“natural language processing” OR “dialogue processing” OR “intension understanding” OR “discourse analysis” OR “machine translation” OR “information search” OR “information extraction” OR “information retrieval” OR “text summarization” OR “question answering”	
⑦画像・音声	パターン認識・理解、シーン理解、動画処理、音声認識・理解、音声対話、視聴覚心理モデル、ジェスチャー認識	“pattern recognition” OR “scene understanding” OR “image” OR “video” OR “speech” OR “gesture”	
⑧ヒューマンインターフェース	知的インタフェース、ヒューマンコンピュータインタラクション、推薦システム、仮想・拡張現実感、空間共有、コミュニケーション支援	“human machine interface” OR “human interface” OR “recommendation” OR “artificial reality” OR “augmented reality” OR “human computer interaction” OR “space sharing” OR “communication assistance” OR “communication support”	
⑨エージェント	ヒューマンエージェントインタラクション、エージェント設計、マルチエージェントシステム、協調問題解決、エージェントシミュレーション、オークション	“agent” OR “human agent interaction” OR “auction” OR “collaborative” OR “cooperative”	
⑩Webインテリジェンス	Web検索、セマンティックWeb、Webマイニング	“web search” OR “semantic web” OR “linked open data” OR “web mining”	
⑪ロボティクス	知能ロボット、ロボットの知的処理、強化学習、ヒューマンロボットインタラクション、環境認識、センサーネットワーク	“robotics” OR “human robot interaction” OR “sensor network” OR “slam” OR “environment recognition” OR “environment awareness” OR “robot” OR “drone”	
⑫知識発見・データマイニング	データマイニング、可視化、データ削減、属性選択、抽出・構築、時系列マイニング、空間マイニング、構造マイニング、関係データマイニング、相関規則	“mining” OR “visualization” OR “data reduction” OR “feature selection” OR “feature extraction” OR “time series” OR “correlation rule”	
⑬ソフトコンピューティング	フuzzy、隠れマルコフモデル、ベイズ推定、ベイジアンネットワーク、独立成分分析、ニューラルネットワーク、リカレントネットワーク、ホップフィールドネットワーク、ボルツマンマシン、ベクトル量子化、カオスネットワーク、Support Vector Machine	“fuzzy” OR “hidden markov” OR “bayes” OR “bayesian” OR “independent component analysis” OR “neural network” OR “recurrent neural network” OR “recurrent network” OR “hopfield network” OR “boltzmann machine” OR “vector quantization” OR “chaos network” OR “support vector machine”	

2.1.2. 検索対象とする論文誌・国際会議等の特定

技術力の評価にあたって、高い影響力を持つ論文数で比較することが効果的であると考えられる。そこで、各分野において、共通キーワードを用いて、論文誌の影響力を h5-index⁵ で評価した結果を Google scholar metrics を用いて検索した。検索結果のトップ 20 の論文誌・国際会議等から、Web of science に収録されていない雑誌・国際会議は削除し、検索対象の論文誌・学会とした。特定された論文誌・国際会議を以下に示す。

表 2.4 ビッグデータ解析

出版物	h5-指標	h5-中央値
International Conference on Very Large Databases	67	101
IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering	66	111
Journal of Knowledge Management	42	62
Data Mining and Knowledge Discovery	33	57
Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery	30	56
European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases	30	36
ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)	23	39
International Conference on Mobile Data Management	20	29
Knowledge Management Research & Practice	19	24
IEEE International Conference on Big Data	18	30
Statistical Analysis and Data Mining	17	30

表 2.5 サイバーセキュリティ

出版物	h5-指標	h5-中央値
International Conference on The Theory and Application of Cryptology and Information Security (ASIACRYPT)	36	51
Fast Software Encryption (FSE)	29	43
Wireless Network Security	22	34
Applied Cryptography and Network Security	21	31
International Journal of Information Security	20	29
IET Information Security	17	26
International Journal of Network Security & Its Applications	15	23
Network Security	15	20
Australasian Conference on Information Security and Privacy (ACISP)	14	19
Information Security Practice and Experience	13	21
Journal of Information Security	13	20
International Journal of Communication Networks and Information Security	13	18
International Conference on Information Security	13	17
International Conference on Information Security and Cryptology	12	21
Cryptology and Network Security	12	18
Annual Information Security Symposium	10	22

⁵ 論文誌・国際会議の重要度を測る指標の一つ。過去 5 年間に論文誌・国際会議で発表された論文を被引用数でランキングし、ランキングの数値が被引用数より大きくなったときの順位の数値を h5-index とする。Google Scholar Webpage. (2017 年 3 月閲覧) <<https://scholar.google.com/intl/en/scholar/metrics.html#metrics>>

表 2.6 人工知能

出版物	h5-指標	h5-中央値
IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR	140	214
International Conference on Machine Learning (ICML)	76	130
The Journal of Machine Learning Research	70	120
IEEE Transactions on Fuzzy Systems	68	94
Pattern Recognition	67	96
Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)	55	105
International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)	55	66

2.2. 技術力調査

2.2.1. 論文数に基づく調査

本項では、前節で特定した論文誌・国際会議の検索対象に対し、各分野で体系化を実施したキーワードリストを用いて、国別の研究発表件数の年次推移を算出することにより技術力調査を実施した⁶。検索対象は、2.1.2 項で特定した論文誌・国際会議での研究発表である。

(1) 論文数国別推移 サイバーセキュリティ

図 2.1 に、サイバーセキュリティ分野全体の項目別の分布を示す⁷。論文発表される内容としては、「標準化/評価/制度/基盤整備」、「ID 連携/認証/アクセス制御」、「暗号技術」等が多いことが分かる。

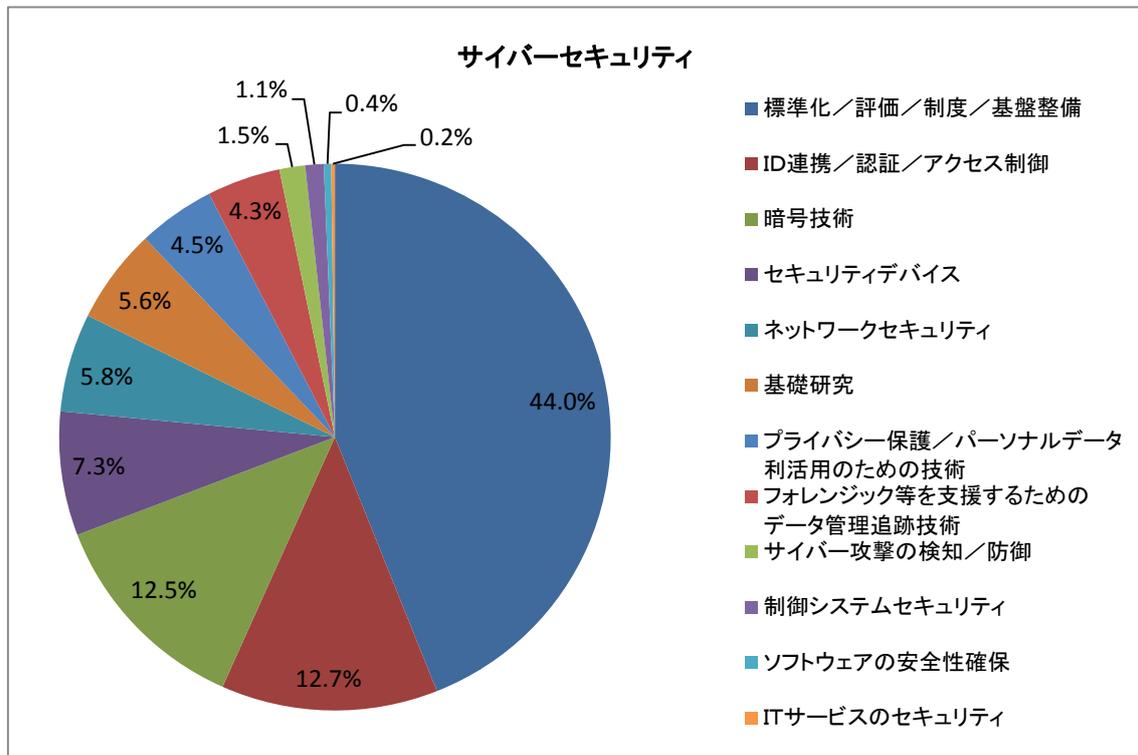


図 2.1 サイバーセキュリティ全体の論文件数割合（全体の件数 464 件）

⁶ 論文のデータベースとして、クラリベイト・アナリティクス・ジャパン株式会社の Web of Science を用いた。検索式は、SO=("論文誌・国際会議 A" OR "論文誌・国際会議 B" OR ...) AND ALL=("キーワード 1" OR "キーワード 2" OR ...) AND (TF>=(2012) AND TF<=(2016))の形を用いた。発表年月の範囲として 2012 年 1 月から 2016 年 3 月までを取ることを意味する。

⁷ 同一論文が複数項目に含まれることは許容している。

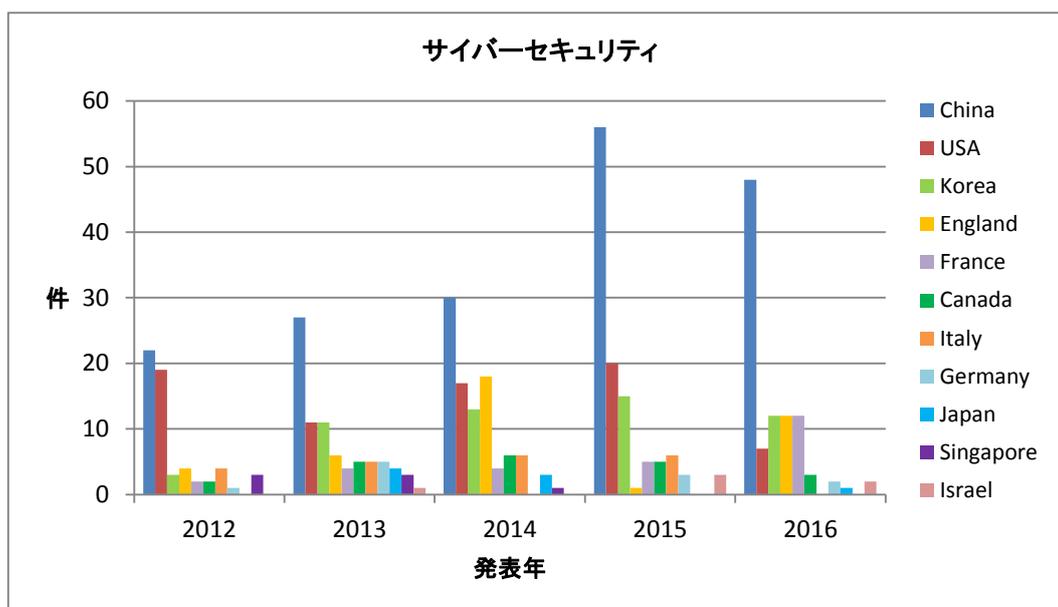


図 2.2 サイバーセキュリティ全体の国別論文数年次推移

図 2.2 に、サイバーセキュリティ分野全体の国別の論文数の年次推移を示す。中国がここ数年論文数を大きく伸ばしていることが分かる。米国は安定した論文数となっている。韓国も近年論文数を伸ばしている。日本については、少なくとも論文数に関しては、多くの国に対して遅れを取っていることが分かる。

表 2.7 に、項目別に、国毎の論文数の占める割合を示す。セキュリティデバイス分野で米国が 1 位となっている他は、全ての項目で中国が 1 位である。日本は「プライバシー保護/パーソナルデータ利活用のための技術」が 3 位となっている以外は、存在感を示していない。

なお、図 2.3~図 2.6 に、体系の大項目単位で集計した国別論文数の年次推移を示した。

表 2.7 サイバーセキュリティの中項目別・国別の論文数順位

中項目	Canada	China	England	France	Germany	Israel	Italy	Japan	Korea	Singapore	USA
① サイバー攻撃の検知／防御	14%	57%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14%	0%	14%
② ID連携／認証／アクセス制御	5%	31%	17%	5%	5%	3%	5%	2%	10%	0%	17%
③ ネットワークセキュリティ	7%	52%	7%	4%	0%	0%	7%	0%	4%	0%	19%
④ ITサービスのセキュリティ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
⑤ 制御システムセキュリティ	0%	20%	0%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	60%
⑥ セキュリティデバイス	9%	24%	9%	6%	6%	0%	9%	0%	9%	0%	29%
⑦ ソフトウェアの安全性確保	0%	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
⑧ プライバシー保護／パーソナルデータ利活用のための技術	10%	52%	5%	5%	0%	0%	10%	5%	10%	0%	5%
⑨ フォレンジック等を支援するためのデータ管理追跡技術	5%	60%	10%	10%	0%	0%	5%	0%	5%	0%	5%
⑩ 基礎研究	0%	35%	8%	15%	8%	0%	4%	4%	4%	4%	19%
⑪ 暗号技術	0%	59%	9%	3%	5%	2%	3%	3%	7%	2%	7%
⑫ 標準化／評価／制度／基盤整備	5%	40%	8%	5%	1%	1%	4%	1%	17%	2%	15%

1位
2位
3位

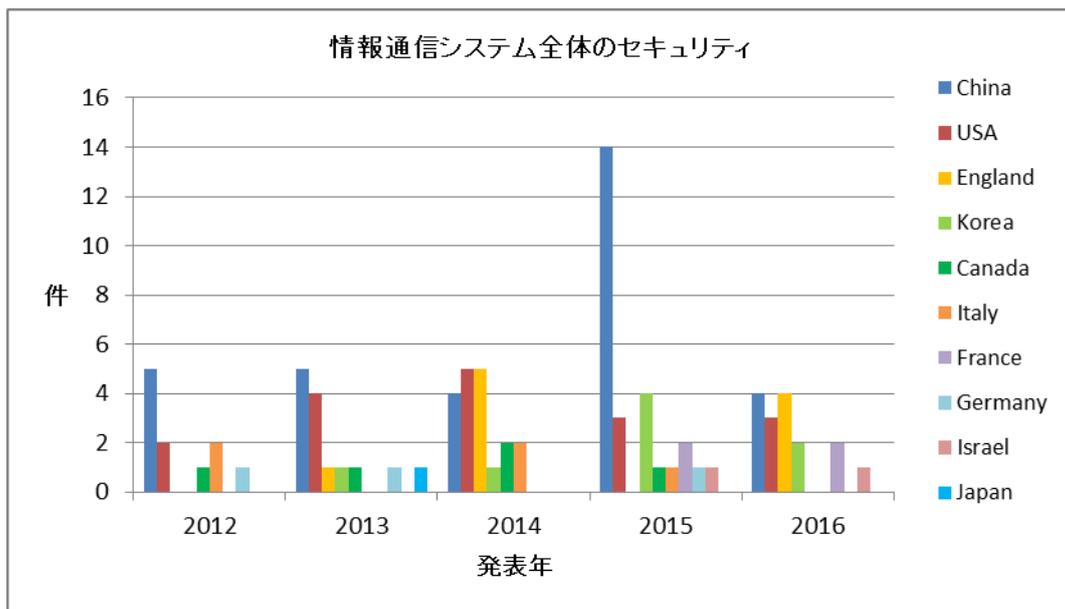


図 2.3 情報通信システム全体のセキュリティの国別論文件数年次推移

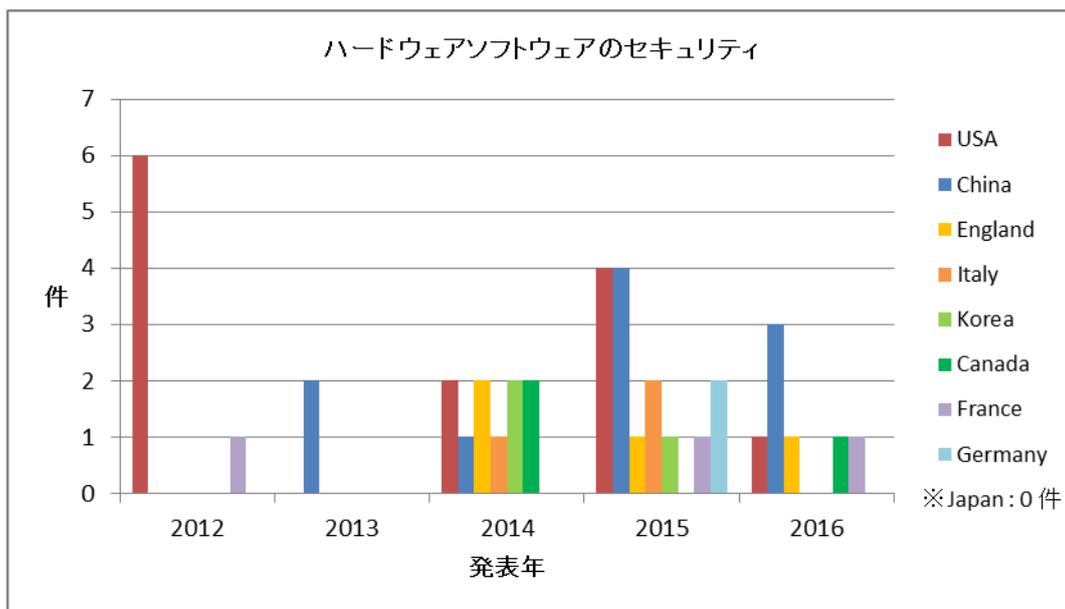


図 2.4 ハードウェアソフトウェアのセキュリティの国別論文件数年次推移

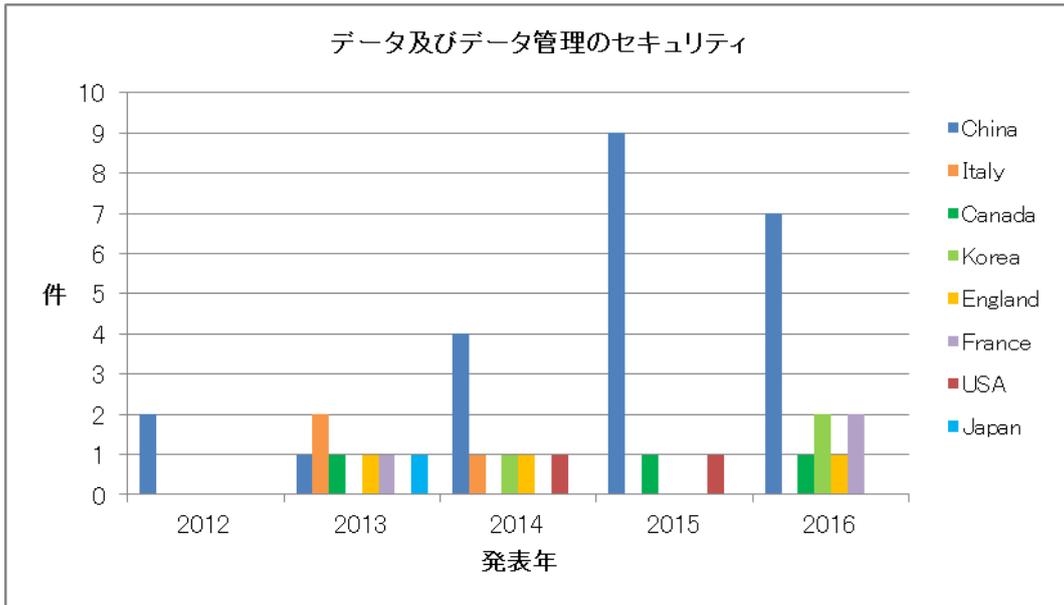


図 2.5 データ及びデータ管理のセキュリティの国別論文件数年次推移

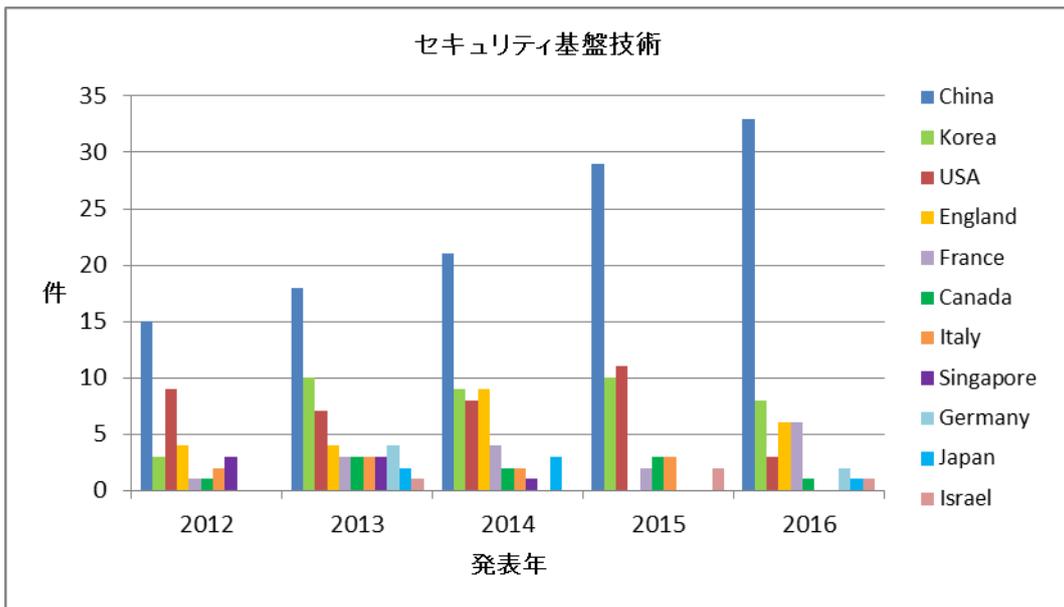


図 2.6 セキュリティ基盤技術の国別論文件数年次推移

(2) 論文数国別推移 ビッグデータ解析

図 2.7 に、ビッグデータ解析の項目別の論文数分布を示す。非構造化データ、準構造化データ等、構造化されていないデータの取り扱い方法に関する研究が上位を占めていることが分かる。また、特定分野へのアプリケーション別では、大規模科学、視覚メディア関連の研究が多いことが分かる。

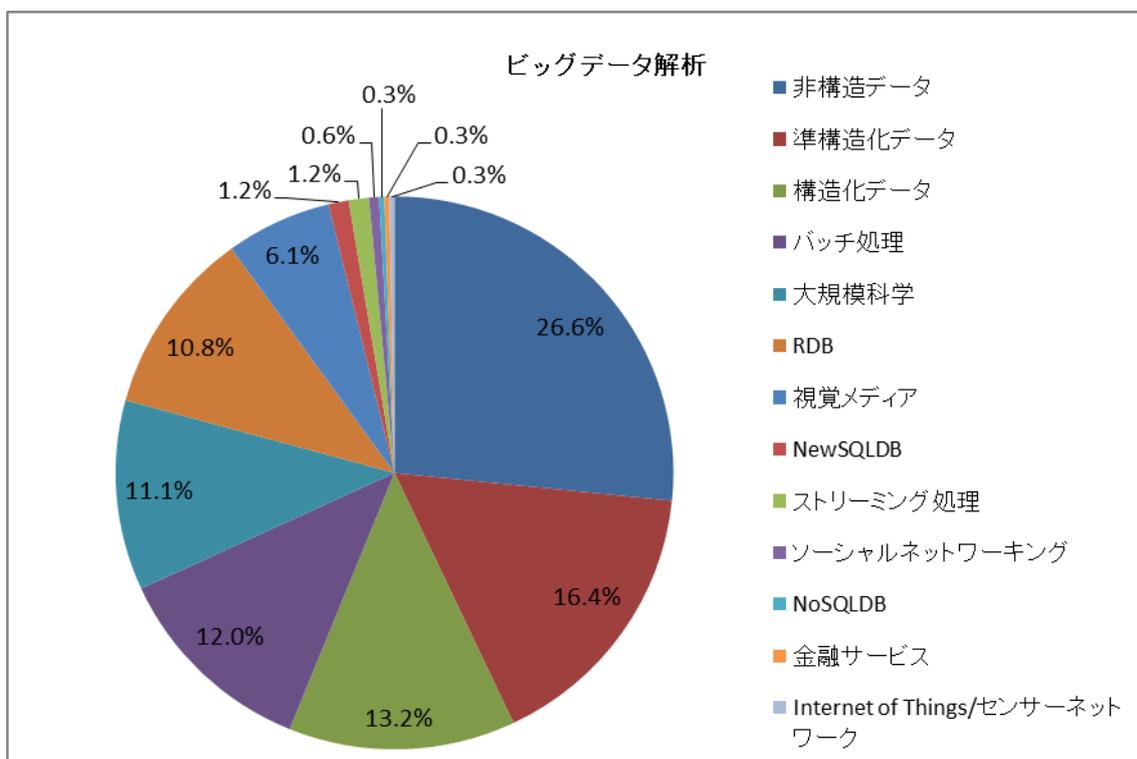


図 2.7 ビッグデータ解析全体の論文件数割合（全体の件数 342 件）

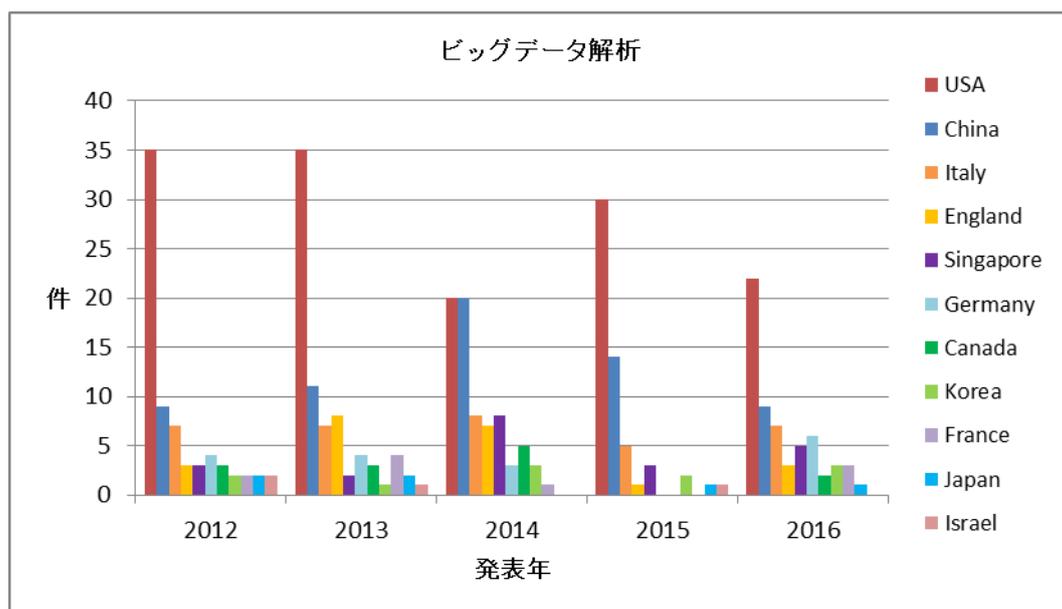


図 2.8 ビッグデータ解析全体の国別論文件数年次推移

国別には、米国の研究が最多であり、中国が2位となっている（図 2.8）。表 2.8 に、項目別・国別の論文数の占める割合を示す。イタリアが IoT で多く研究を実施している点特徴的である。日本は論文数の面では遅れをとっており、ストリーミング処理で2位、視覚メディアで3位となっているのみである。

なお、図 2.9～図 2.12 に、体系の大項目単位で集計した国別論文件数の年次推移を示した。

表 2.8 ビッグデータ解析の中項目別・国別の論文数順位

中項目	Canada	China	England	France	Germany	Italy	Japan	Korea	Singapore	USA	Israel
① 構造化データ	9%	11%	11%	2%	11%	7%	4%	2%	9%	33%	0%
② 準構造化データ	4%	27%	2%	4%	2%	14%	5%	4%	5%	34%	0%
③ 非構造化データ	1%	15%	7%	1%	4%	12%	0%	2%	3%	52%	2%
④ RDB	3%	14%	8%	5%	8%	27%	0%	3%	8%	24%	0%
⑤ NoSQLDB	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
⑥ NewSQLDB	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	50%	0%	0%
⑦ バッチ処理	2%	37%	0%	2%	5%	0%	0%	10%	7%	37%	0%
⑧ ストリーミング処理	25%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	50%	0%
⑨ 金融サービス	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
⑫ 大規模科学	5%	11%	16%	5%	3%	3%	0%	0%	5%	53%	0%
⑬ ソーシャルネットワーキング	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
⑭ Internet of Things/センサーネットワーク	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
⑮ 視覚メディア	5%	19%	5%	5%	5%	0%	5%	0%	5%	52%	0%

1位
2位
3位

*⑩「小売」⑪「ネットワーク・セキュリティ」⑯「ネットワーク・ゲーム/電子商取引」については0件であったため除外。

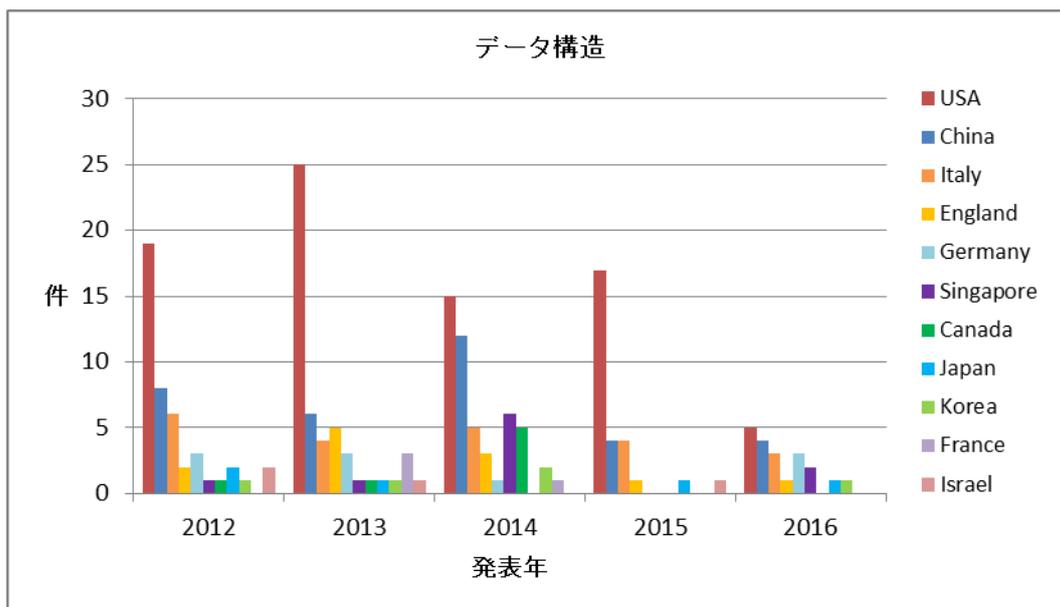


図 2.9 データ構造の国別論文数年次推移

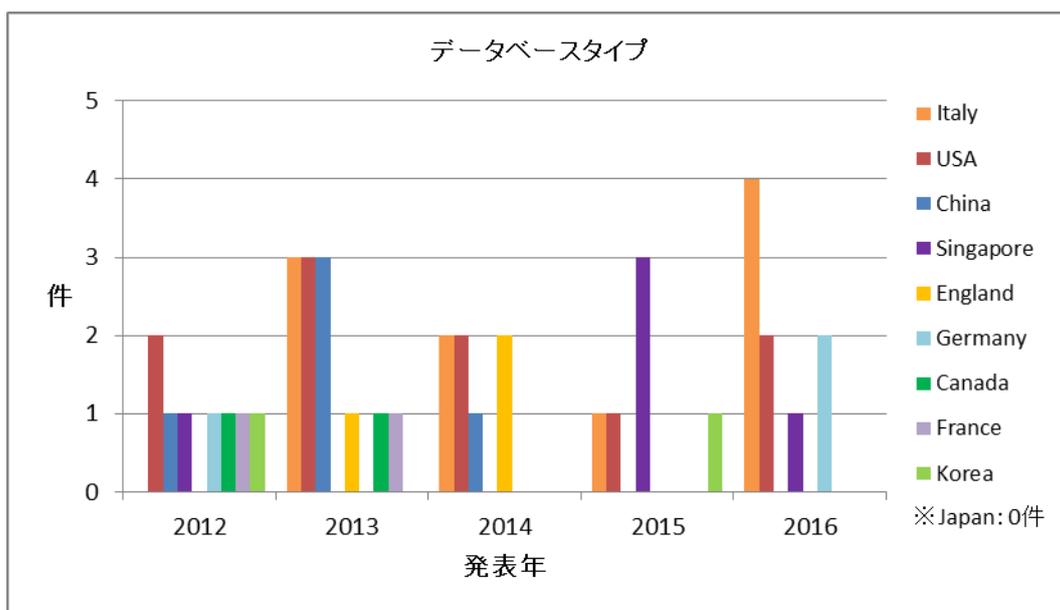


図 2.10 データベースタイプの国別論文数年次推移

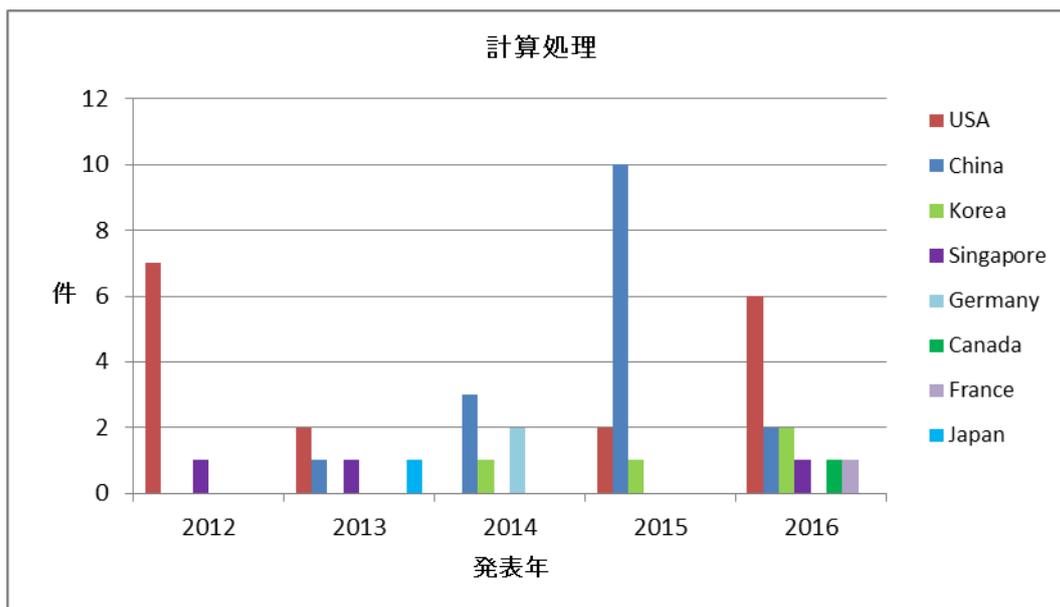


図 2.11 計算処理の国別論文数年次推移

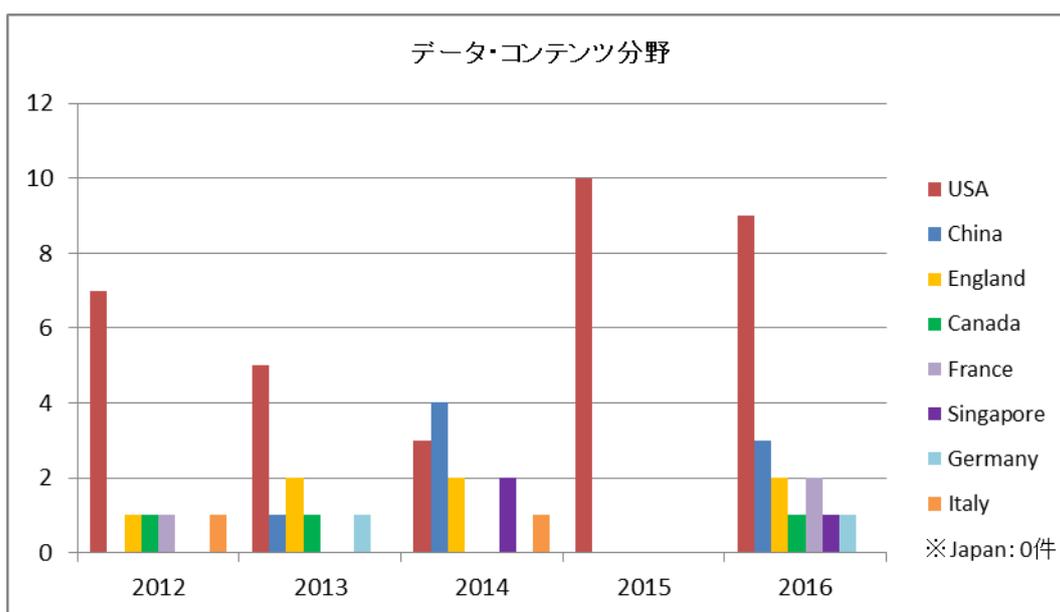


図 2.12 データ・コンテンツ分野の国別論文数年次推移

(3) 論文数国別推移 人工知能

図 2.13 に、人工知能分野の項目別の論文件数を示す。ここ数年の深層学習に係る研究の増大を反映して、機械学習、ソフトコンピューティング、人工知能基礎等の基礎的な研究や、深層学習の応用先として研究が進んでいる画像・音声の研究が多いことが分かる。

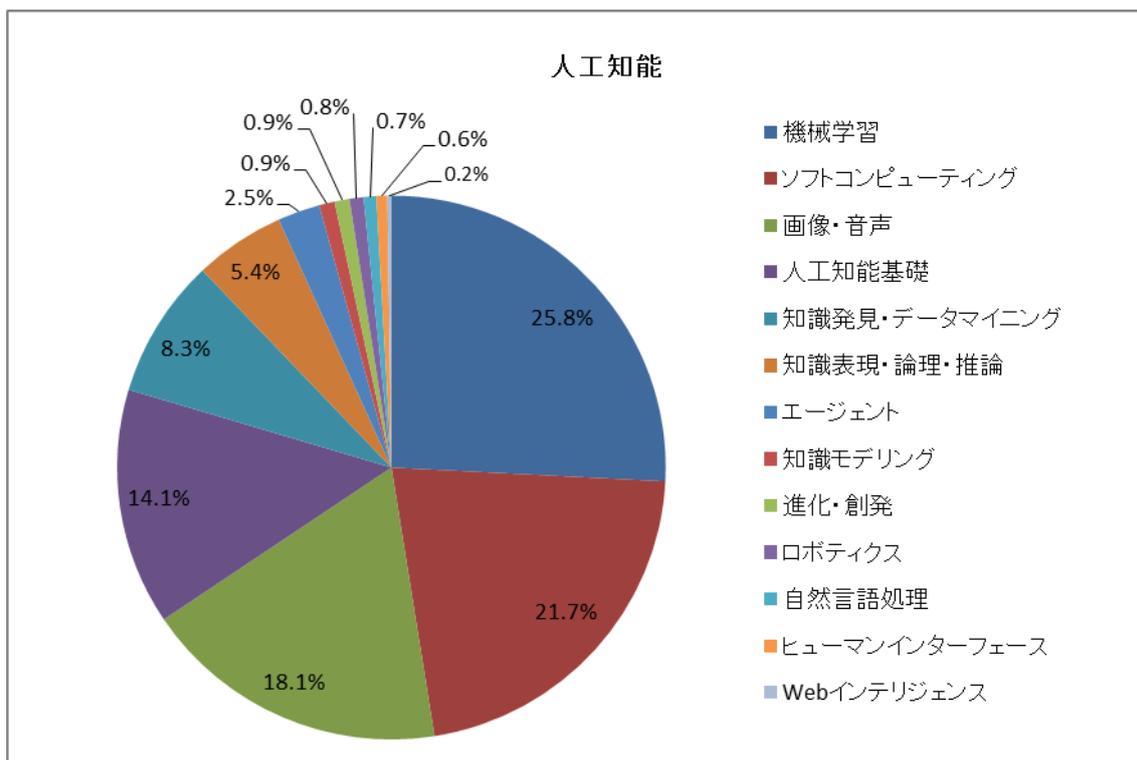


図 2.13 人工知能全体の論文件数割合（全体の件数 3755 件）

図 2.14 に人工知能全体の国別の論文件数の年次推移を示す。中国が 2012 年時点で既に米国を抜いて 1 位となっており、毎年論文件数を伸ばしているのに対し、米国は一定して論文件数 2 位となっている。表 2.9 に、項目別・国別の論文数の占める割合を示す。米国、中国の比較においては、知識表現・論理・推論、自然言語処理等、今後深層学習の応用先となると考えられる項目に関して、米国が中国の論文件数を上回っている。カナダは、人工知能基礎、ソフトコンピューティング等で 3 位、機械学習でもフランスと同率で 3 位である。カナダには、深層学習の研究を最初に行った Geoffrey Hinton 教授の所属するトロント大学があり、人工知能の基礎的な研究を行う文化的土壌があることが示唆される。イギリスは、知識モデリングで 2 位、知識表現・論理・推論及び知識発見・データマイニングで 3 位である。2.2.3 (1) 項で後述する様に、Google DeepMind 等、今後の人工知能の方向性へ向かう素地があることが示唆される。フランスは、機械学習、画像・音声で 3 位であり、現実的な応用への志向性がうかがえる。日本については、論文件数は少なく、存在感は薄い。

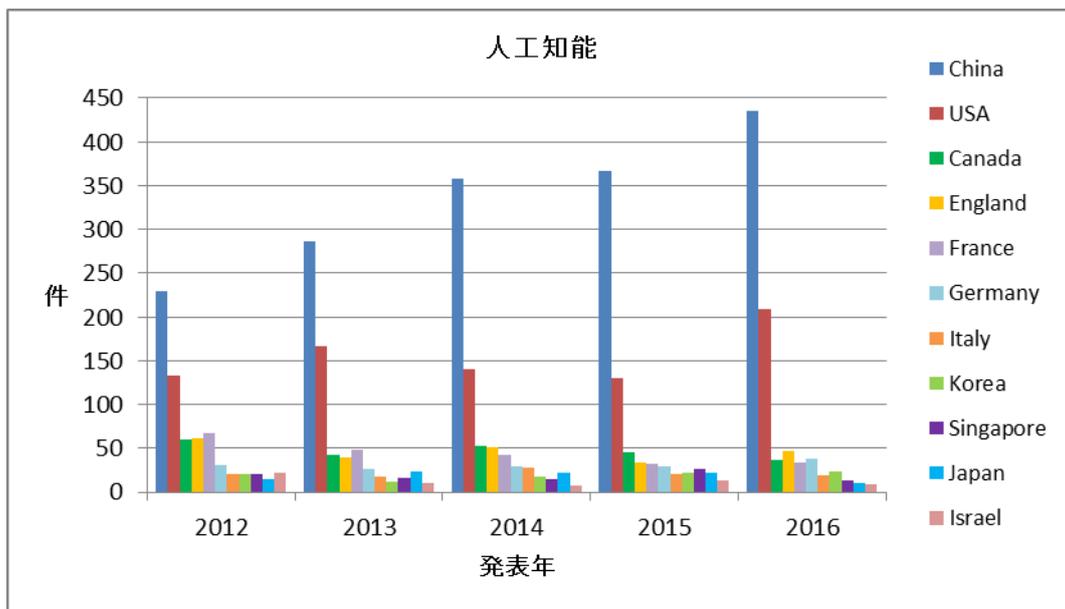


図 2.14 人工知能全体の国別論文件数年次推移

表 2.9 人工知能の大項目別・国別の論文数順位

大項目	China	USA	Canada	France	Germany	England	Japan	Israel	Korea	Singapore	Italy
① 人工知能基礎	38%	28%	6%	6%	5%	5%	4%	4%	2%	2%	1%
② 知識表現・論理・推論	22%	39%	3%	6%	8%	12%	1%	1%	1%	3%	2%
③ 知識モデリング	41%	6%	0%	9%	9%	24%	0%	3%	0%	0%	9%
④ 機械学習	41%	22%	7%	7%	5%	5%	3%	2%	2%	3%	4%
⑤ 進化・創発	52%	12%	9%	6%	0%	6%	6%	0%	0%	3%	6%
⑥ 自然言語処理	21%	29%	4%	14%	7%	7%	4%	4%	0%	4%	7%
⑦ 画像・音声	52%	12%	7%	8%	3%	6%	2%	1%	4%	3%	4%
⑧ ヒューマンインターフェース	33%	29%	8%	4%	0%	13%	4%	0%	0%	0%	8%
⑨ エージェント	40%	21%	6%	3%	5%	7%	0%	9%	1%	2%	4%
⑩ Webインテリジェンス	22%	56%	11%	0%	0%	11%	0%	0%	0%	0%	0%
⑪ ロボティクス	26%	26%	0%	0%	13%	16%	6%	0%	3%	6%	3%
⑫ 知識発見・データマイニング	47%	21%	6%	5%	3%	6%	2%	1%	5%	3%	2%
⑬ ソフトコンピューティング	54%	17%	7%	4%	3%	6%	3%	0%	2%	2%	2%

1位
2位
3位

図 2.15~図 2.20 に人工知能分野の大項目別の国別論文件数の年次推移を示す。「②知識表現・論理・推論」に関して、米国が 2016 年に大きく論文件数を伸ばしている点が特徴的である。この他、「①人工知能基礎」、⑦「画像・音声」について、ここ数年中国、米国ともに論文件数が増大している。

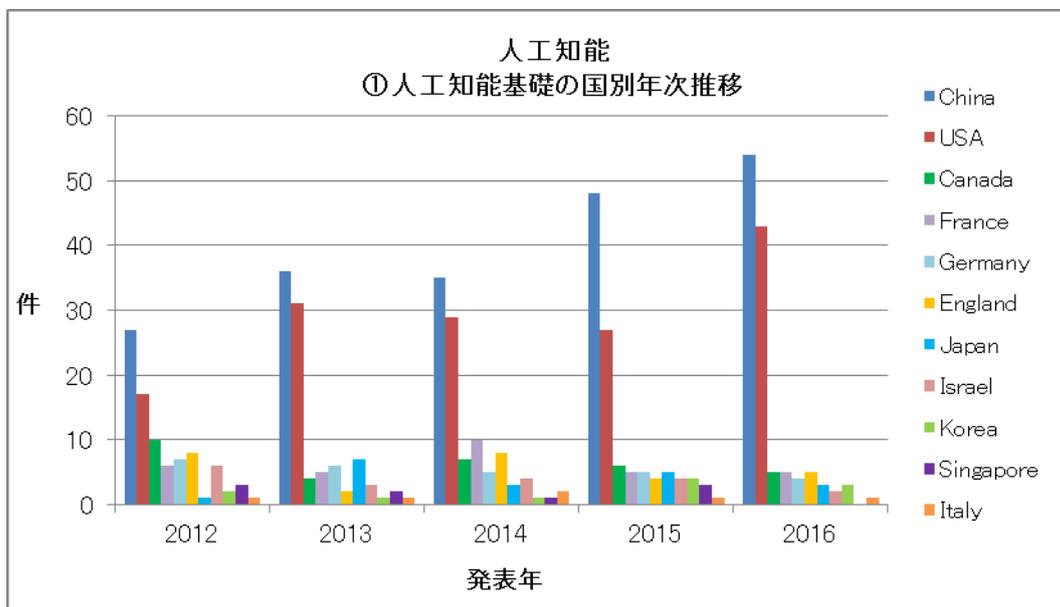


図 2.15 人工知能基礎の国別論文件数年次推移

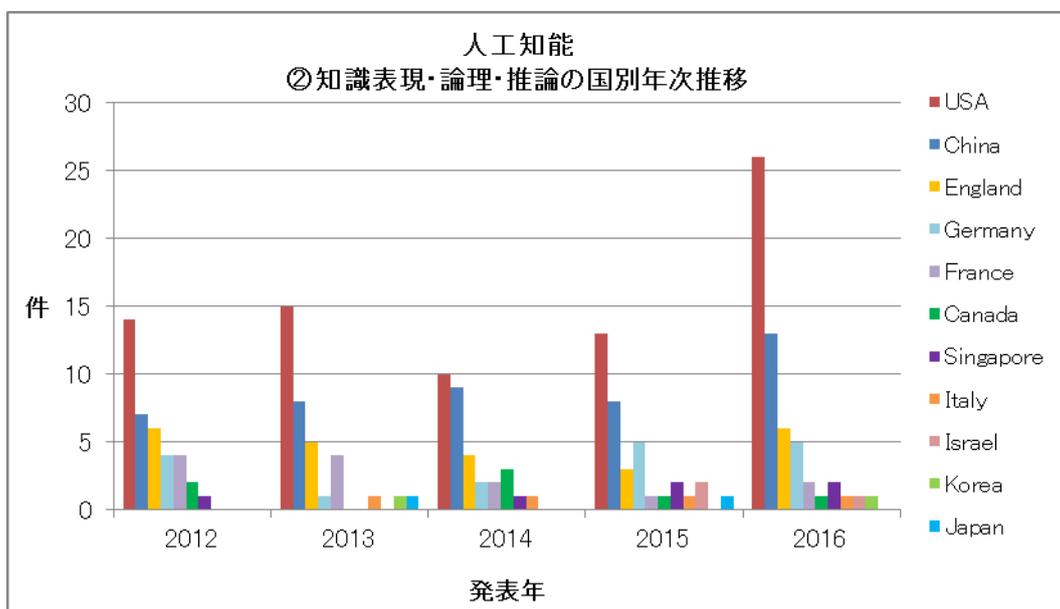


図 2.16 知識表現・論理・推論の国別論文件数年次推移

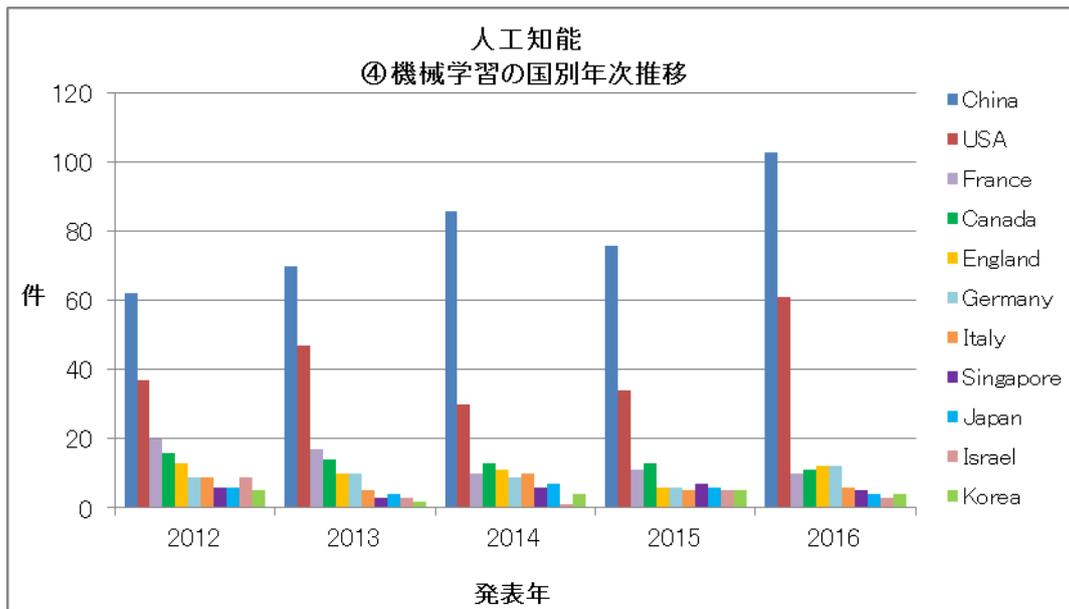


図 2.17 機械学習の国別論文数年次推移

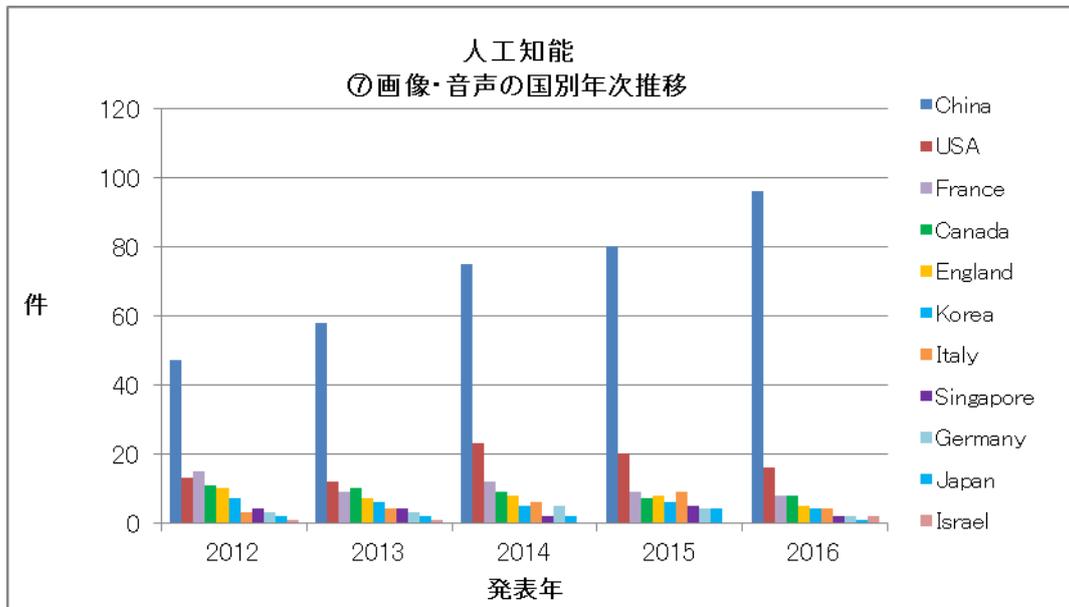


図 2.18 画像・音声の国別論文数年次推移

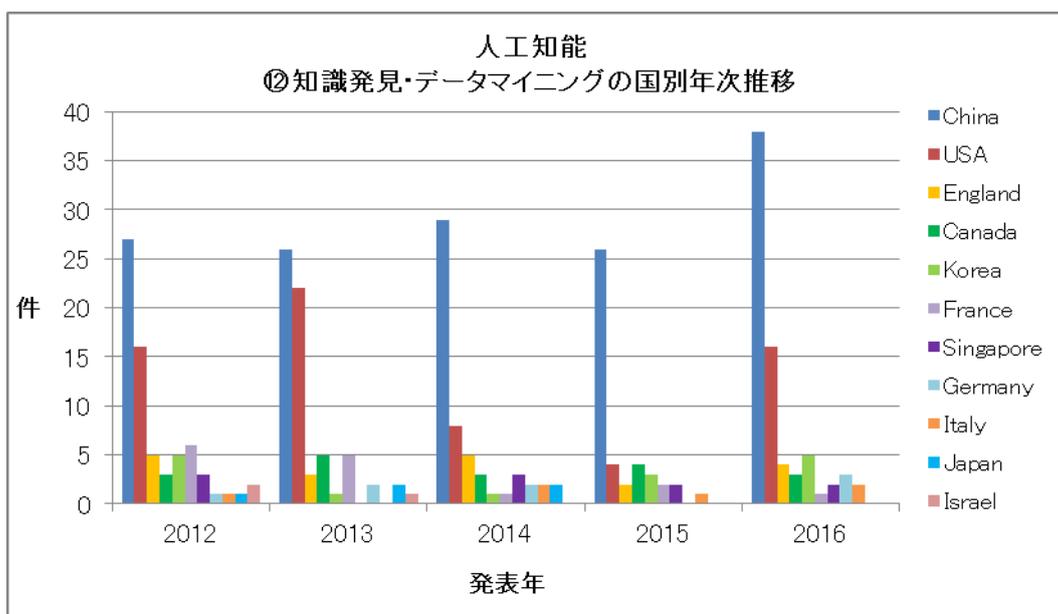


図 2.19 知識発見・データマイニングの国別論文数年次推移

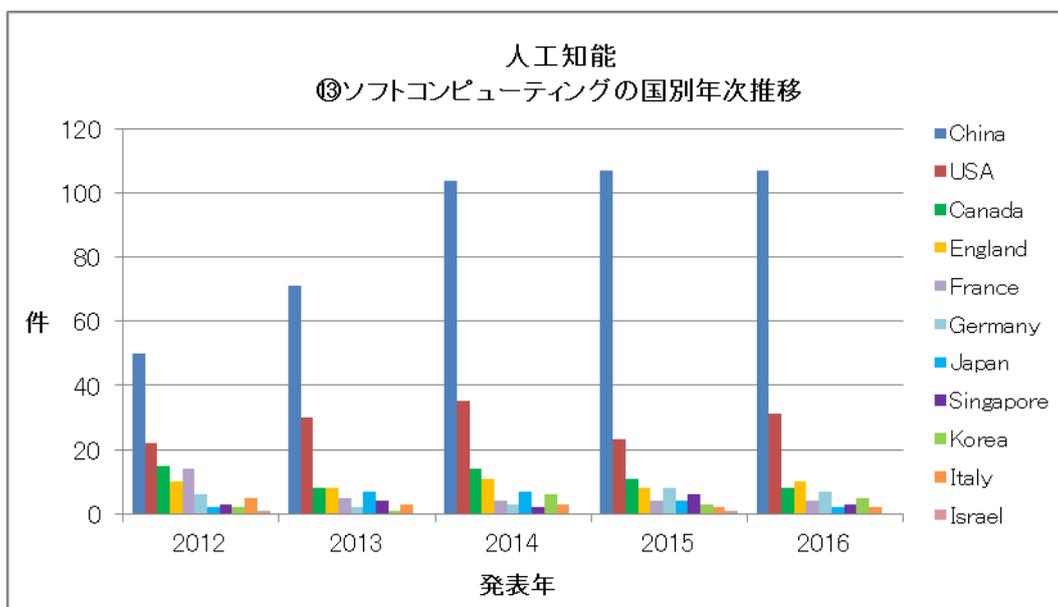


図 2.20 ソフトコンピューティングの国別論文数年次推移

2.2.2. 特許に基づく技術力調査

本項では、前節において各分野で体系化を実施したキーワードリストを用いて、国別の特許出願件数の年次推移を算出することにより技術力調査を実施した⁸。また、IPC⁹に基づき、請求項の内容別の分析も実施した。

(1) サイバーセキュリティ分野の特許に基づく分析

図 2.21 に、サイバーセキュリティ分野の特許全体の国別分布を示す。米国の出願数が圧倒的であり、多くの IPC に幅広く出願を行っていることが分かる（IPC の定義および各々の IPC に対する出願件数を表 2.10 に示す）。次いで中国、日本、韓国が一部の IPC について比較的件数が多い。

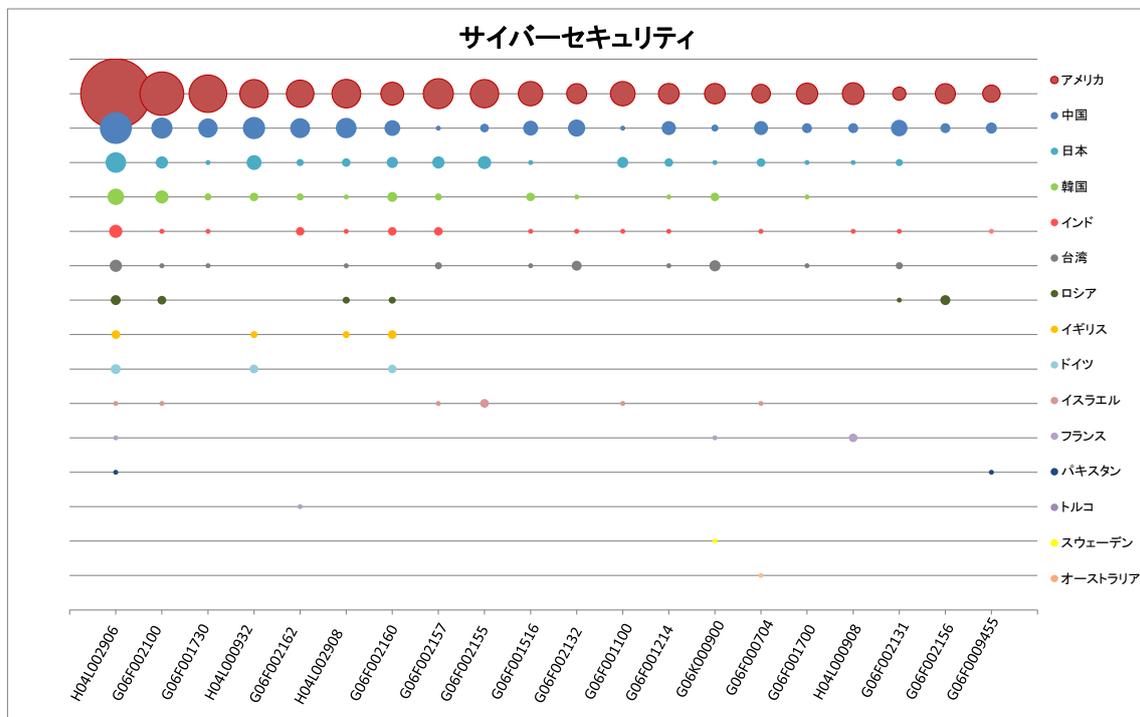


図 2.21 サイバーセキュリティ分野の IPC 別・国別出願動向

⁸ 特許のデータベースとして、クラリベイト・アナリティクス・ジャパン株式会社の Web of Science を用いた。検索式は、各分野の共通キーワードとしてそれぞれ“cyber security”, “big data”, “artificial intelligence”により検索した結果集合に対し、抄録に含まれるキーワードで分類を行った。そのため、一つの特許が複数の項目でカウントされることを許容している。また、出願年が 2000 年 1 月～2016 年 12 月の出願を対象とした。

⁹ International Patent Classification の略。国際的に利用されている特許分類体系。「国際特許分類 (IPC) について」特許庁ウェブサイト (2017 年 3 月閲覧) <<https://www.jpo.go.jp/seido/tokkyo/seido/bunrui/ipc/index.html>>

表 2.10 サイバーセキュリティ分野の IPC 分布

IPC	分類	件数
H04L002906	プロトコルによって特徴づけられるもの	305
G06F002100	不正行為から計算機, その部品, プログラムまたはデータを保護するためのセキュリティ装置	121
G06F001730	情報検索; そのためのデータベース構造	80
H04L000932	システムの利用者の身元または権限の照合のための手段を含むもの	70
G06F002162	プラットフォームからのデータへのアクセスを保護するもの, 例. 鍵またはアクセスコントロールルールを用いるもの	65
H04L002908	伝送制御手順, 例. データリンクレベル制御手順	63
G06F002160	データを保護するもの	59
G06F002157	信頼された計算機プラットフォームの保証または維持, 例. セキュアブートまたは電源断, バージョンの管理, システム・ソフトウェアの検査, セキュア更新または脆弱性評価	54
G06F002155	ローカルへの侵入を検知または対抗策を実行するもの	48
G06F001516	各々が少くとも算術演算ユニット, プログラム・ユニットおよびレジスタをもつ2つ以上のデジタル計算機が結合されたもの, 例. 数個のプログラムの同時処理を行うためのもの	41
G06F002132	生体データを用いるもの, 例. 指紋, 虹彩スキャンまたは声紋	35
G06F001100	エラー検出; エラー訂正; 監視(記録担体と変換器との間の相対運動に基づく情報記憶装置におけるエラーの検出, 訂正または監視G11B20/18; モニタ, すなわち, 記録または再生過程の監視G11B27/36; 静的記憶装置におけるものG11C29/00)	33
G06F001214	メモリの不正な使用に対する保護	32
G06K000900	印刷されたまたは手書きされた文字を読取るまたは認識するため, またはパターン, 例. 指紋, を認識するための方法または装置(グラフ読取のためのまたは機械的変量, 例. カまたは存否, のパターンを電気信号に変換するための方法または装置G06K11/00; 音声認識G10L15/00)	31
G06F000704	同一性の比較, すなわち値が同じか異なるかの比較	28
G06F001700	特定の機能に特に適合したデジタル計算またはデータ処理の装置または方法	28
H04L000908	キーの分配	28
G06F002131	ユーザーの認証	26
G06F002156	コンピュータ・マルウェアの検出または処理, 例. アンチ・ウィルス装置	26
G06F0009455	プログラムローディングまたはイニシエーティング(信頼された計算機プラットフォームの保証または維持, 例. セキュアブートまたは電源断, バージョンの管理, システム・ソフトウェアの検査, セキュア更新または脆弱性評価G06F21/57)	24

図 2.22 に、IPC 別の年次推移を示す（合計 30 件以上の出願があるもののみ）¹⁰。IPC 別で近年増加している H04L002906（プロトコルによって特徴づけられるもの）、H04L002908（伝送制御手順）は、どちらもネットワーク上でのデータ伝送に係る分類であり、データ流通量が増大している状況を反映しているものと推測される。一方、G06F002100（不正行為から計算機、その部品、プログラムまたはデータを保護するためのセキュリティ装置）、G06F002155（ローカルへの侵入を検知または対抗策を実行するもの）の出願件数は近年減少傾向にあり、特許出願件数の観点からはテーマ的に落ち着いてきている分野であると言える。

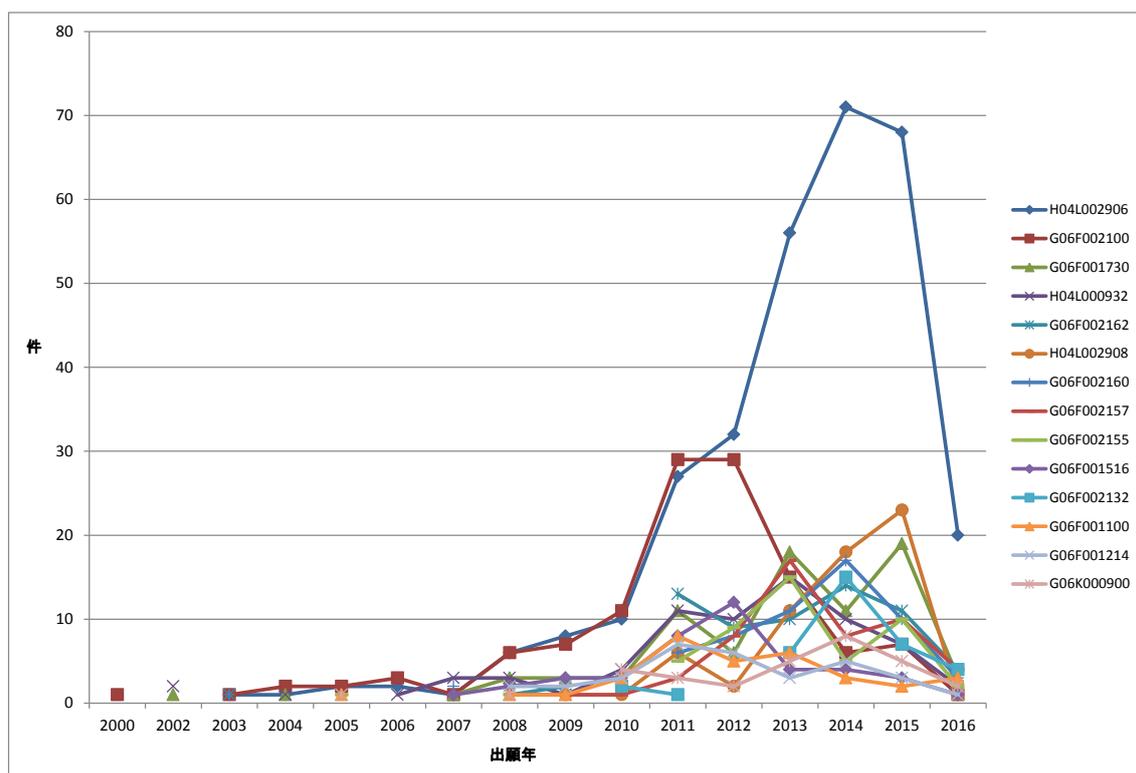


図 2.22 サイバーセキュリティの IPC 別年次推移

(2) ビッグデータ解析分野の特許に基づく分析

図 2.23 に、ビッグデータ解析の特許全体の国別分布を示す。サイバーセキュリティ分野同様、米国の出願数が圧倒的であり、多くの IPC に幅広く出願を行っていることが分かる（IPC の定義および各々の IPC に対する出願件数を表 2.11 に示す）。次いで韓国、中国、インドが積極的に特許出願を行っている。日本については、出願件数は多くなく、6 位となっている。

¹⁰ 2016 年の件数が少ないのは、出願年を横軸にとっており、公開までのタイムラグのためである。

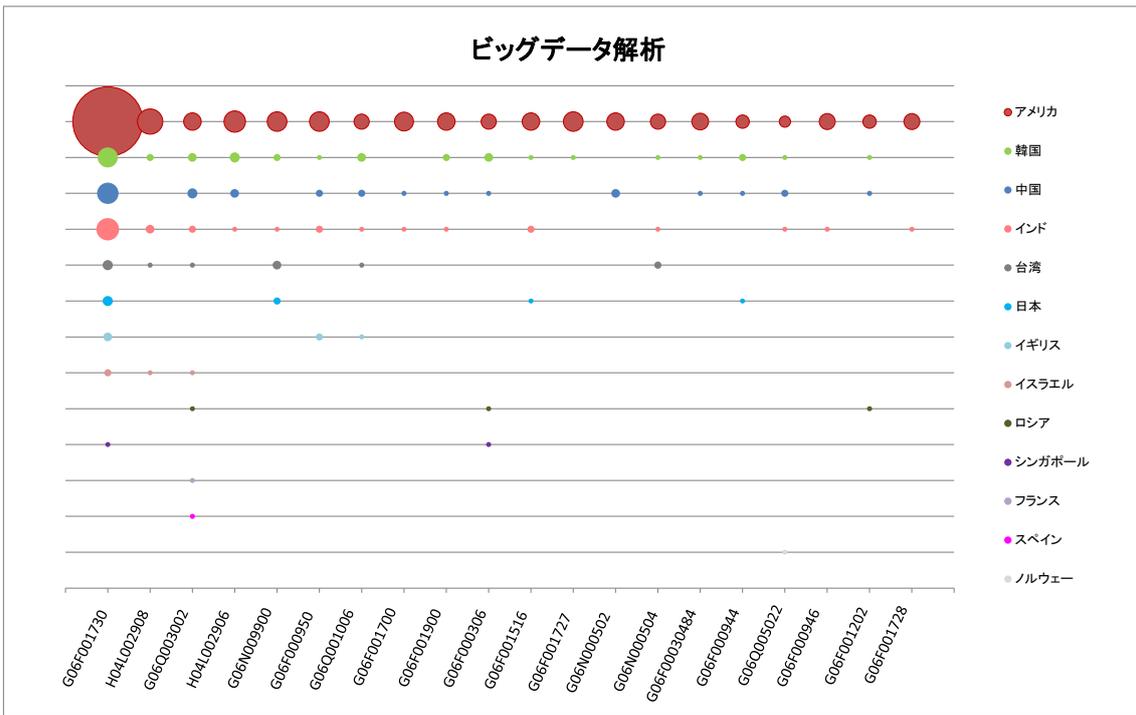


図 2.23 ビッグデータ解析分野の IPC 別・国別出願動向

表 2.11 ビッグデータ解析分野の IPC 分布

IPC	分類	件数
G06F001730	情報検索; そのためのデータベース構造	282
H04L002908	伝送制御手順, 例. データリンクレベル制御手順	33
G06Q003002	マーケティング, 例. 市場調査と分析, 調査, 促進, 広告, バイヤー・プロファイリング, 顧客管理, 謝礼; 価格の見積りあるいは決定	30
H04L002906	プロトコルによって特徴づけられるもの	27
G06N009900	このサブクラスの他のグループに分類されない主題事項	25
G06F000950	リソースの割り当て, 例. 中央処理装置 (CPU)	24
G06Q001006	資源, ワークフロー, 人員またはプロジェクト管理, 例. 組織化, 計画, スケジューリング, 時間的, 人的または物的資源の割り当て; 事業計画; 組織モデル	19
G06F001700	特定の機能に特に適合したデジタル計算またはデータ処理の装置または方法	17
G06F001900	特定の用途に特に適合したデジタル計算またはデータ処理の装置または方法 (G06F17/00が優先; 管理目的, 商用目的, 金融目的, 経営目的, 監督目的または予測目的に特に適合したデータ処理システムまたは方法G06Q)	17
G06F000306	記録担体からのデジタル入力または記録担体へのデジタル出力	16
G06F001516	各々が少くとも算術演算ユニット, プログラム・ユニットおよびレジスタをもつ2つ以上のデジタル計算機が結合されたもの, 例. 数個のプログラムの同時処理を行うためのもの	16
G06F001727	自動言語解析, 例. 構文解析, 綴字訂正	16
G06N000502	知識の表現	16
G06N000504	推論方法または装置	14
G06F00030484	特定の機能または操作の制御のためのもの, 例. オブジェクトやイメージの選択または操作, パラメータ値の設定, 範囲の指定	13
G06F000944	特別なプログラムを実行するための装置	13
G06Q005022	ヘルスケア, 例. 病院; 社会福祉事業	12
G06F000946	マルチプログラミング装置	11
G06F001202	アドレッシングまたはアロケーション; リロケーション (プログラム・アドレス順序制御G06F9/00; デジタル記憶におけるアドレス選択装置G11C8/00)	11
G06F001728	自然言語の処理または翻訳 (G06F17/27が優先)	11

図 2.24 に、IPC 別の年次推移を示す (合計 30 件以上の出願があるもののみ)。IPC 別で G06F001730 (情報検索; そのためのデータベース構造) の件数が近年増えているのは、ビッグデータを格納する際のデータベース構造が検索の効率化において重要であることを反映しているものと考えられる。H04L002908 (伝送制御手順, 例. データリンクレベル制御手順) の出願件数が多いのは、サイバーセキュリティ分野の場合と同様、どちらもネットワー

ク上でのデータ伝送に係る分類であり、データ流通量が増大している状況がビッグデータ解析分野においても重要であることを反映しているものと推測される。また、ビッグデータ解析の実用的な応用分野として重要な G06Q003002（マーケティング）や、今後のビッグデータ解析において期待されている G06F001727（自動言語解析）、G06N000502（知識の表現）、G06N000504（推論方法または装置）などが一定数出願されている。

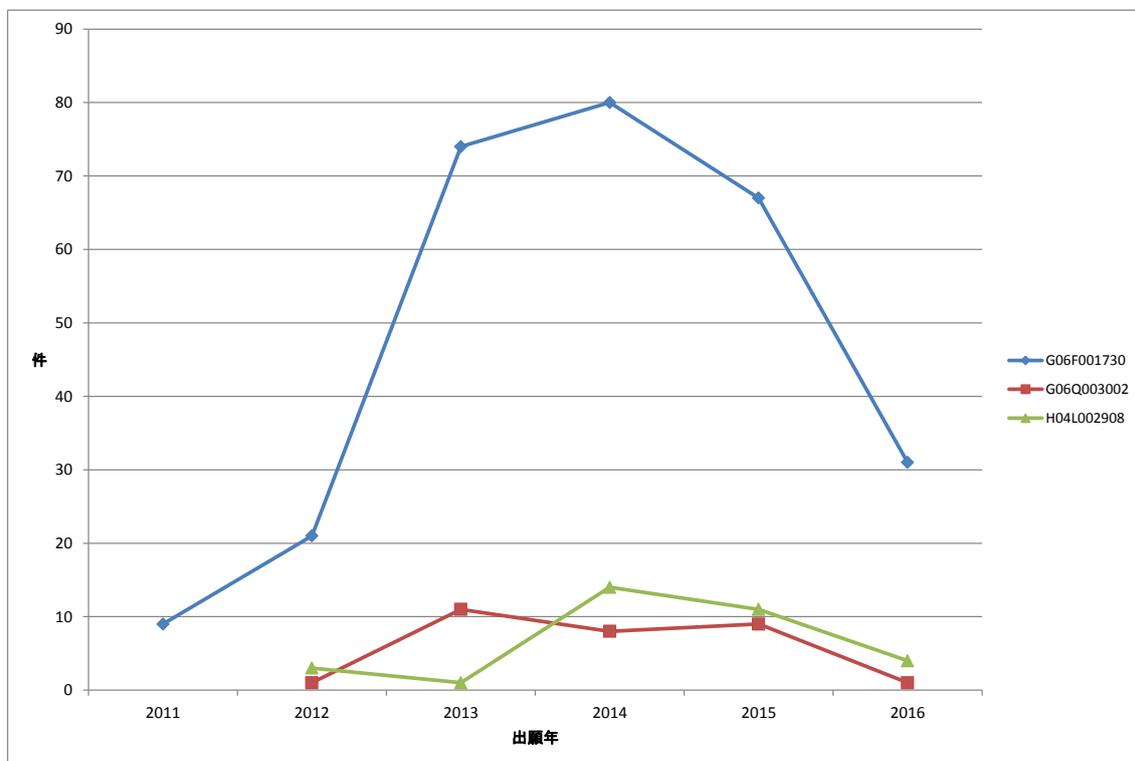


図 2.24 ビッグデータ解析の IPC 別年次推移¹¹

(3) 人工知能分野の特許に基づく分析

図 2.25 に、人工知能分野の特許全体の国別分布を示す。サイバーセキュリティ、ビッグデータ解析分野同様、米国の出願数が圧倒的であり、多くの IPC に幅広く出願を行っていることが分かる（IPC の定義および各々の IPC に対する出願件数を表 2.12 に示す）。日本は件数で 2 位となっており、一定の存在感を示している。

¹¹ 2010 年以前は 0 件であったため 2011 年以降の件数を示している。

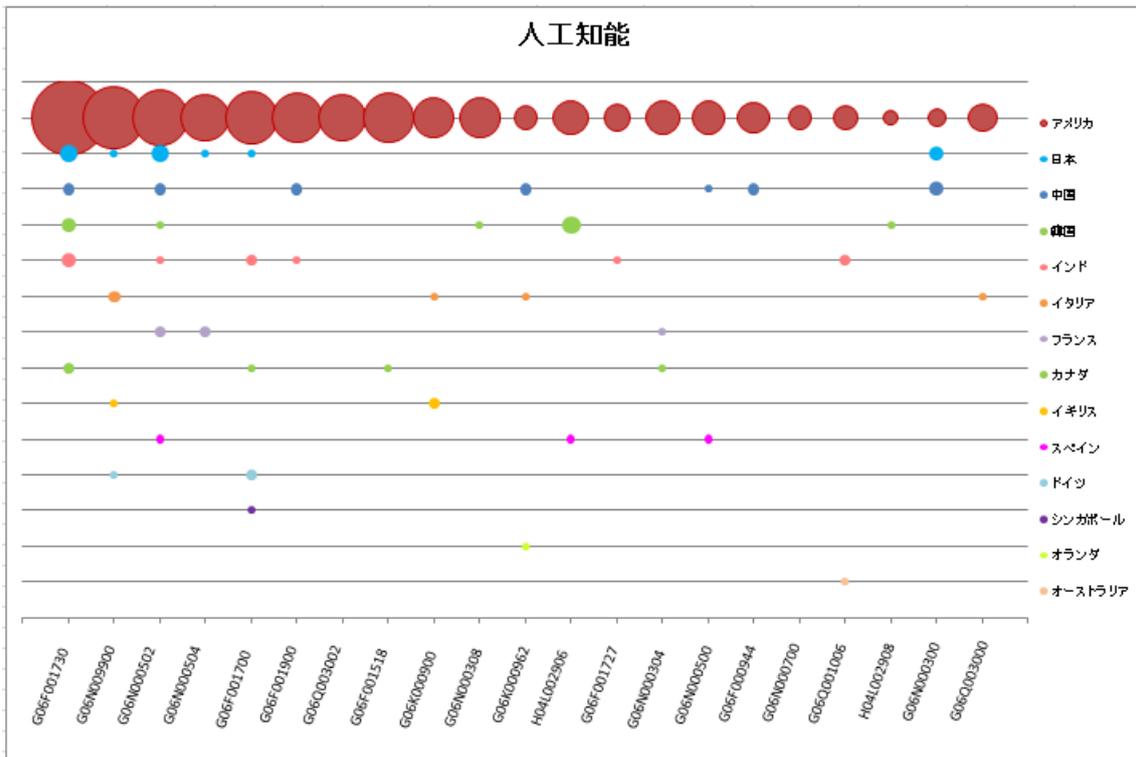


図 2.25 人工知能分野の IPC 別・国別出願動向

表 2.12 人工知能分野の IPC 分布

IPC	分類	件数
G06F001730	情報検索;そのためのデータベース構造	173
G06N009900	このサブクラスの他のグループに分類されない主題事項	157
G06N000502	知識の表現	123
G06N000504	推論方法または装置	91
G06F001700	特定の機能に特に適合したデジタル計算またはデータ処理の装置または方法	81
G06F001900	特定の用途に特に適合したデジタル計算またはデータ処理の装置または方法(G06F17/00が優先;管理目的,商用目的,金融目的,経営目的,監督目的または予測目的に特に適合したデータ処理システムまたは方法G06Q)	78
G06Q003002	マーケティング,例.市場調査と分析,調査,促進,広告,バイヤー・プロファイリング,顧客管理,謝礼;価格の見積りあるいは決定	63
G06F001518	一回の動作期間に,計算機自身が経験を積むことによりプログラムが変化されるもの,例.学習機械(最適制御システムG05B13/00;人工知能G06N)	51
G06K000900	印刷されたまたは手書きされた文字を読取るまたは認識するため,またはパターン,例.指紋,を認識するための方法または装置(グラフ読取のためのまたは機械的変量,例.力または存否,のパターンを電気信号に変換するための方法または装置G06K11/00;音声認識G10L15/00)	50
G06N000308	数個の源からの入力を計数するための手段;異なる量の入力を計数するための手段	48
G06K000962	電子的手段を用いる認識のための方法または装置	46
H04L002906	プロトコルによって特徴づけられるもの	43
G06F001727	自動言語解析,例.構文解析,綴字訂正	39
G06N000304	アーキテクチャ,例.網構造	37
G06N000500	知識ベースモデルを利用したコンピュータ・システム	37
G06F000944	特別なプログラムを実行するための装置	32
G06N000700	特定の数学的モデルに基づいたコンピュータ・システム	32
G06Q001006	資源,ワークフロー,人員またはプロジェクト管理,例.組織化,計画,スケジューリング,時間的,人的または物的資源の割り当て;事業計画;組織モデル	29
H04L002908	伝送制御手順,例.データリンクレベル制御手順	26
G06N000300	生物学的モデルに基づくコンピュータ・システム(生物の機能的側面をシミュレートするアナログ・コンピュータ・システムG06G7/60)	25
G06Q003000	商取引,例.買物または電子商取引	25

図 2.26 に、IPC 別の年次推移を示す（合計 30 件以上の出願があるもののみ）。G06F001730（情報検索；そのためのデータベース構造）、G06N009900（このサブクラスの他のグループに分類されない主題事項）等全般的な分類のものを除くと、今後の人工知能の応用先として期待されていると考えられる G06N000502（知識の表現）、G06N000504（推論方法または装置）の分野で出願件数が多い（3 位と 4 位）とともに近年件数が増大している。また、G06F001518（一回の動作期間に、計算機自身が経験を積むことによりプログラムが変化されるもの）は機械学習を含む基礎的な内容に対応する分類であるが、既に 2012 年にピークとなっている一方、マルチモーダル学習¹²に関係するものと考えられる G06N000308（数個の源からの入力を計数するための手段；異なる量の入力を計数するための手段）や、G06F001727（自動言語解析）など、アルゴリズムの複雑化や言語への応用に係る出願が近年増大していることが分かる。G06Q001006（資源、ワークフロー、人員またはプロジェクト管理）、G06Q003000（商取引）など、人工知能の実社会への応用において重要と考えられる分野に関しては、出願件数はまだ多くはない。

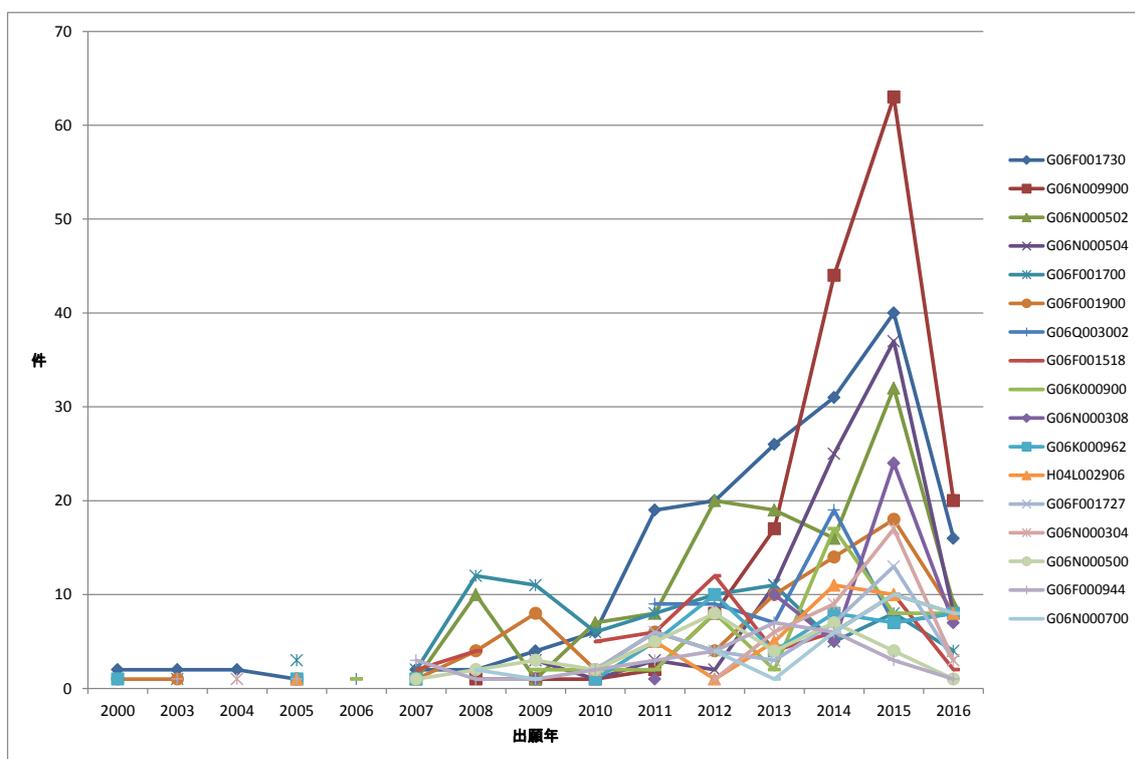


図 2.26 人工知能の IPC 別年次推移

¹² 画像と音声、画像とテキストなど、複数の種類の入力データを合わせて学習を行うこと。

2.2.3. 論文数・特許出願数以外の情報源による技術力調査

2.2.1 項、2.2.2 項で、データベース検索により国別の全体的な傾向の分析を行った。本項では、より具体的に特徴的な研究内容を理解するための補足情報として、①Google DeepMind¹³による研究発表の分野別分類による英国の人工知能研究の動向、②ビッグデータ解析のコンテストのプラットフォームである Kaggle のトップ 100 チームの国別分布や、利用されたアルゴリズム種別の動向をまとめる。

(1) Google DeepMind の研究開発の方向性

Google DeepMind は、2010 年に英国で設立され、2014 年に Google に買収された人工知能の研究開発を推進している企業である。CEO の Demis Hassabis は認知神経科学の博士号も持つ人工知能の研究者であり、コンピュータサイエンスと脳科学の双方の知見をもとに Google DeepMind の研究開発の方向性を決定しているものと考えられる。

本項では、研究開発の方向性をさらに細分化して分析するために、Google DeepMind の発表論文をテーマ別の分類を以下の手順により実施した。

Google DeepMind の発表論文（全 135 件）¹⁴をテーマ別に分類した（テーマの重複も許容した）。テーマについては、論文表題および抄録の内容から目視により決定した。挙げられたテーマは、大きく以下の 3 種類の課題にグルーピング可能であった。

課題 1) 実用的な教師データを用意することの困難性

教師あり学習を実施する場合には、訓練用のデータとして、入力データとともに教師用のデータがセットで揃っていることが必要となる。この教師用のデータを作成する場合には、入力データに対するアノテーションを手作業で行う必要がしばしば生じる。そのため、実用的に様々な領域で教師あり学習を実施することが事実上不可能である場合も多い。

このような課題に対応するため、教師データが必要のない教師なし学習や強化学習、教師あり学習を行うにしてもなるべく少ない教師データでの学習を可能とする半教師あり学習等の研究が行われている。コンピュータ上でゲームやロボットが動作する仮想的な環境のシミュレータを作成し、その中で自律的に学習を行わせる強化学習の研究などが実施されている。

課題 2) ブラックボックス問題への対処

深層学習を含むニューラルネットワークは、例え入力と出力の関係を正しく学習できたとしても、その内部がどのように動作して結果が出力されているのかを理解

¹³ Google DeepMind Webpage. (2017 年 3 月閲覧) <<https://deepmind.com/>>

¹⁴ 2017 年 3 月時点。Google DeepMind Webpage. <<https://deepmind.com/research/publications/>>

することが現状では困難である。そのため、ニューラルネットワークを実用する局面で誤った出力が生じた場合、その原因の追究や責任の所在を同定することが困難になるという課題がある。

この課題を解決するためには、ニューラルネットワークで学習した内容を、記号や自然言語により説明できるようにすることが必要となる。そのために、ニューラルネットワークが得意とするパターン認識に論理的推論、計画等の記号処理を融合させるための研究や、自然言語処理の精度向上等のための研究が推進されている。

なお、この課題は、シンボルグラウンディング問題と呼ばれる、「記号」に対応した外界のパターンをどの様に学習するかという問題とも強く関連している

課題 3) 脳科学・認知科学の知見の利用

1)、2)の様な研究開発を実施する際に、生物の脳がどのようにその機能を実現しているかを参考にモデルを構成することが試みられている。特に、深層学習は、従来入力層、隠れ層、出力層の3層構造でしか学習できなかったニューラルネットワークを、多層かつ柔軟な層間結合でも学習を可能にしたアルゴリズムであり、そのために多様なモデルの性能のテストが世界的に試みられている状況である。

具体的には、メモリ機能の再現、想像をする機能（生成モデル）の再現、注意の機能の再現等が相当する。

以上のテーマに基づき、Google DeepMind の発表論文を分類したものを図 2.27 に示す。図で赤色で示したテーマは上記の「1)実用的な教師データを用意することの困難性」、黄色で示したテーマは「2) ブラックボックス問題への対処」、緑で示したテーマは「3) 脳科学・認知科学の知見の利用」にそれぞれ対応したテーマである（青で示したテーマは基礎研究やそれ以外の応用的研究）。Google DeepMind の研究開発の方向性は、人工知能の研究開発の課題とその解決のための方向性（後述）と合致していることが確認された。

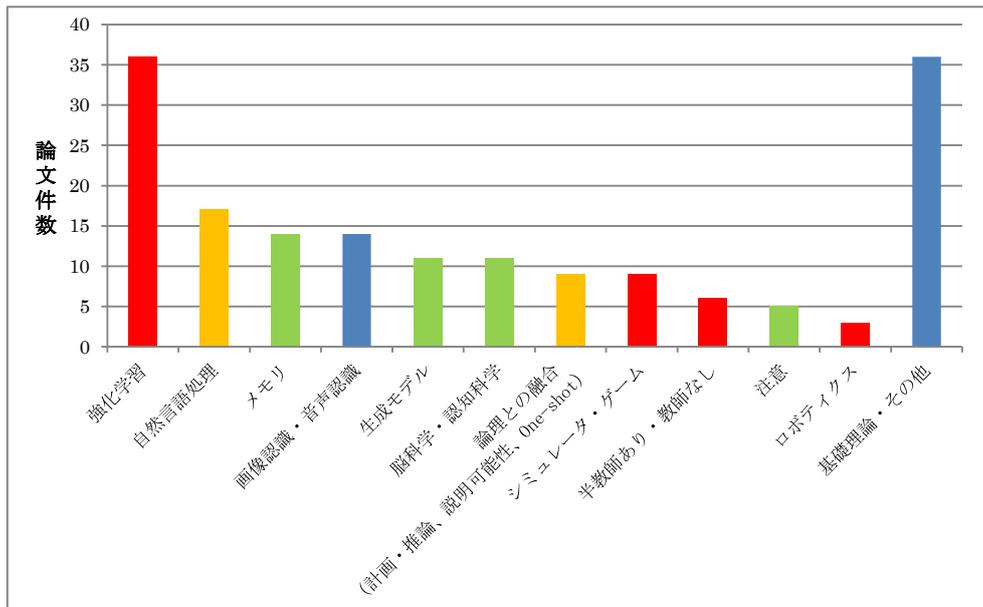


図 2.27 Google DeepMind 発表論文の分野別件数

(参考) 人工知能の歴史、今後の見通しと具体的研究事例

人工知能には、歴史的に大きく二つの流儀が存在する（図 2.28）。一つは、図 2.28 で「ルールベース機械学習」と表示されているもので、記号処理を基盤として論理演算や推論等を行う人工知能である（シンボリズムとも呼ばれる）。1982年に開始され1992年まで当時の通商産業省により継続されたいわゆる「第5世代コンピュータ」、エキスパートシステム等はその代表的な例である。もう一つは、図 2.28 で「ニューラルネットワーク」と表示されているもので、ニューラルネットワークや深層学習など、脳を模擬したニューロンモデルをネットワーク状に結合し機械学習を行う流儀である（コネクショニズムと呼ばれる）。

これらの二つの流れは、現状ではそれぞれほぼ独立に発展しているが、生物の脳ではニューラルネットワークにより統一的に実現されているはずである。そのため、今後は、これらの二つの流儀が、ニューラルネットワークによるパターン認識と記号処理をどのように融合させていくかが基礎的な研究開発の焦点になると考えられる。

（上記のブラックボックス問題の解決にも寄与する）。

図 2.29 に、この様な今後の人工知能の研究開発の見通しを示す。直近では、深層学習の登場により、静止画の認識や映像の認識の精度が上がっており、応用開発が既に様々に進められている。一方、主に強化学習と深層学習の組合せにより、ロボット等の運動の習熟の精度が向上している。これら二つがいずれ融合することにより、高度な運動の自動化が可能になるものと考えられる。一方、記号処理の流れにおいては、当面は意味の理解を伴わない言語処理の精度向上がビッグデータの利用等を背景に進むが、高度化されたロボットにより、記号と外界のパターンの結び付け（シンボルグラウンディング）が徐々に段階的に進んでいくことにより、意味の理解を伴った自然言語処理が可能となる。また、ビッグデータの活用も並行して進んでいく。最終的には、これら全てが融合することにより、汎用的な人工知能が実現するという見通しである。

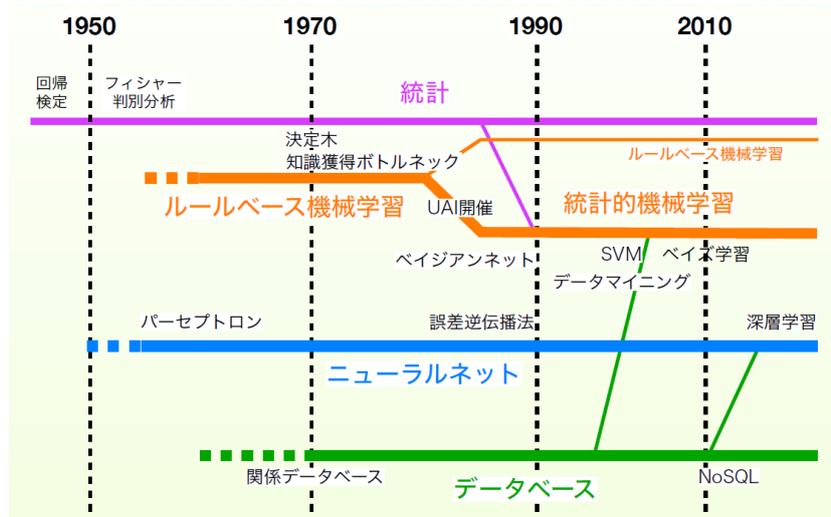


図 2.28 人工知能の歴史¹⁵

¹⁵ 神嶋敏弘「データマイニング・機械学習分野の概要」（2017年3月閲覧）
<<http://www.kamishima.net/archive/mldm-overview.pdf>>

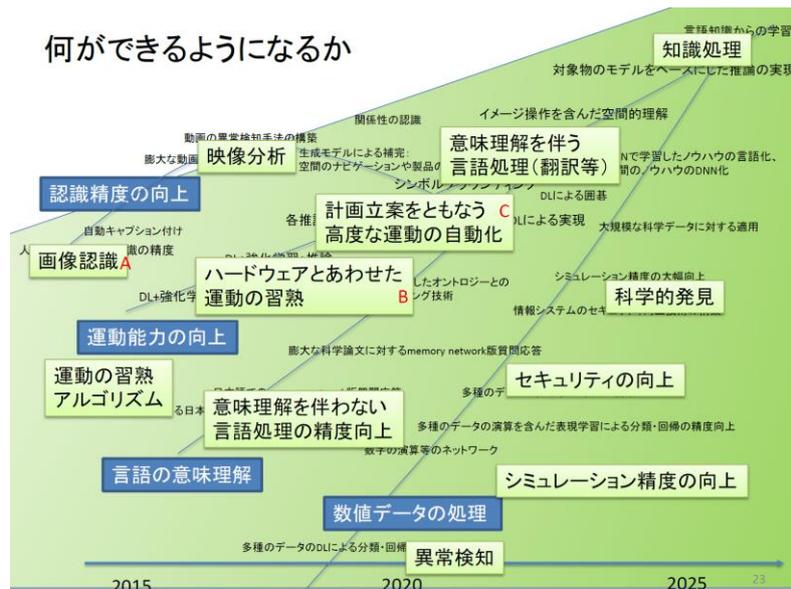


図 2.29 今後の見通しの例¹⁶

以上の今後の人工知能の開発の方向性に沿った研究開発の具体例を 3 例示す。

事例① 3次元仮想空間内でのエージェントの動きを学習

前述の「実用的な教師データを用意することの困難性」という課題に対応して、Google DeepMind では、3次元の仮想空間内に迷路等様々な環境を設定し、その仮想空間内で動くエージェントの動きに関して強化学習等を行うことの可能な枠組みをオープンソースで構築している（図 2.30）。同様の取組みに、OpenAI¹⁷による”OpenAI Gym”¹⁸がある。

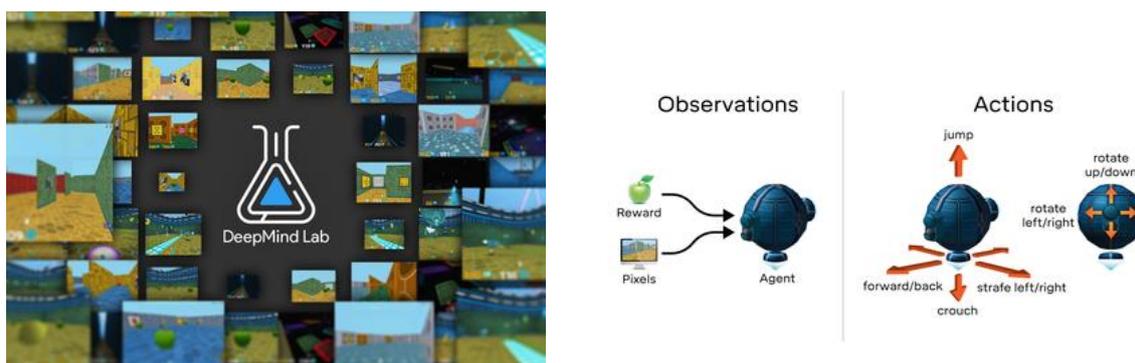


図 2.30 Google DeepMind の概要¹⁹

¹⁶ 松尾豊「人工知能に関する技術動向と産業分野への利用可能性」 経済産業省 産業構造審議会 新産業構造部会資料. 経済産業省ウェブページ (2017年3月閲覧)

<http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin_sangyoukouzou/pdf/002_05_00.pdf>

¹⁷ 安全な人工知能を実現することを目指す非営利組織で、イーロン・マスク等により 2015 年に設立された。

¹⁸ “OpenAI Gym,” OpenAI Webpage. (2017年3月閲覧) <<https://gym.openai.com/>>

¹⁹ “Open-sourcing DeepMind Lab,” Google DeepMind Webpage. (2017年3月閲覧) <<https://deepmind.com/blog/open-sourcing-deepmind-lab/>>

事例② ニューラルネットワークによるプログラミングの実現

「ブラックボックス問題への対処」の課題に対応して、コネクショニズムの一種である深層学習により、記号処理の典型的例として簡易なプログラミングが実現可能なことを示した研究である²⁰。本研究も Google DeepMind によるものであり、機械学習に関するトップレベルの国際会議である ICLR (International Conference on Learning Representations) 2016²¹において、Best Paper Award を獲得したものである。

本研究では、3次元仮想空間内に置かれた自動車と、その周囲にランダムな初期位置を与えられたカメラがある状態から出発し、そのカメラ位置を動かして、車の正面の所定の位置に回り込ませるためのプログラムを自動的に生成させる深層学習のネットワークを構成した (図 2.31、図 2.32)。近年、巨大システムのプログラムは規模の増大の一途を辿っており、バグが無いということの保証が極めて困難となっているが、この研究はその様な問題を解決するための最初の一步とすることが出来る。

Program	Descriptions	Calls
ADD	Perform multi-digit addition	ADD1, LSHIFT
ADD1	Perform single-digit addition	ACT, CARRY
CARRY	Mark a 1 in the carry row one unit left	ACT
LSHIFT	Shift a specified pointer one step left	ACT
RSHIFT	Shift a specified pointer one step right	ACT
ACT	Move a pointer or write to the scratch pad	-
BUBBLESORT	Perform bubble sort (ascending order)	BUBBLE, RESET
BUBBLE	Perform one sweep of pointers left to right	ACT, BSTEP
RESET	Move both pointers all the way left	LSHIFT
BSTEP	Conditionally swap and advance pointers	COMP_SWAP, RSHIFT
COMP_SWAP	Conditionally swap two elements	ACT
LSHIFT	Shift a specified pointer one step left	ACT
RSHIFT	Shift a specified pointer one step right	ACT
ACT	Swap two values at pointer locations or move a pointer	-
GOTO	Change 3D car pose to match the target	HGOTO, VGOTO
HGOTO	Move horizontally to the target angle	LGOTO, RGOTO
LGOTO	Move left to match the target angle	ACT
RGOTO	Move right to match the target angle	ACT
VGOTO	Move vertically to the target elevation	UGOTO, DGOTO
UGOTO	Move up to match the target elevation	ACT
DGOTO	Move down to match the target elevation	ACT
ACT	Move camera 15° up, down, left or right	-
RJMP	Move all pointers to the rightmost position	RSHIFT
MAX	Find maximum element of an array	BUBBLESORT, RJMP

Table 2: Programs learned for addition, sorting and 3D car canonicalization. Note the the ACT program has a different effect depending on the environment and on the passed-in arguments.

図 2.31 学習したプログラムの一覧²²

²⁰ S.Reed and N. de Freitas, “Neural Programmer-Interpreters,” arXiv:1511.06279. Arxiv webpage (2017年3月閲覧) <<https://arxiv.org/abs/1611.04558>>

²¹ “ICLR 2016 Basic Information,” ICLR 2016 Webpage. (2017年3月閲覧) <<http://www.iclr.cc/doku.php?id=iclr2016:main>>

²² *op.cit.*(20)

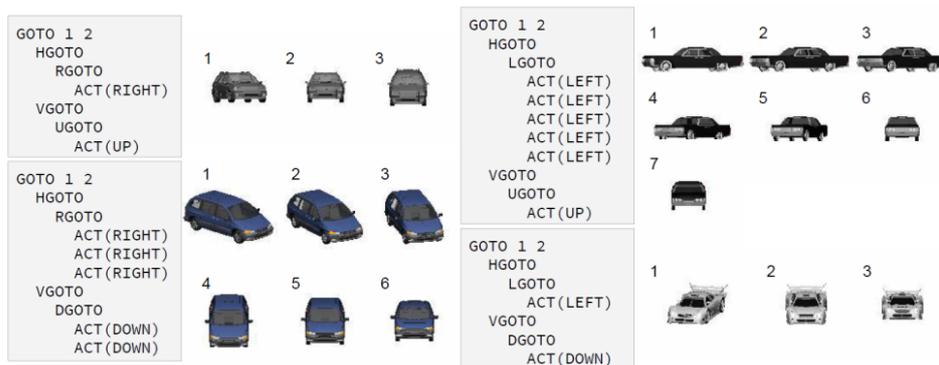


Figure 7: Example canonicalization of several different test set cars. The network is able to generate and execute the appropriate plan based on the starting car image. This NPI was trained on trajectories starting at azimuth ($-75^\circ \dots 75^\circ$), elevation ($0^\circ \dots 60^\circ$) in 15° increments. The training trajectories target azimuth 0° and elevation 15° , as in the generated traces above.

図 2.32 仮想 3 次元空間内で、任意の初期位置からカメラを車の正面へ移動させるプログラムを生成²³

もう一つの研究事例は、Google 本体による機械翻訳の事例である²⁴。本研究による機械翻訳アルゴリズムは既に Web 上の Google 翻訳に実装されている。本研究では、多言語間の機械翻訳にあたって、入力された文の「意味」に相当するものが、言語に依存しないニューラルネットワークの状態として表現された後、出力先の言語へ変換される (図 2.33)。図 2.33 は、様々な文を入力した際のニューラルネットワークの状態の動きを点で表している。b で示された点の範囲は、「成層圏は、高度 10km から 50km の範囲にあります」に相当する状態であり、c は英語、韓国語、日本語それぞれを処理している時の状態がほぼ同様の中間表現として実現されていることを示している。このことにより、たとえば韓-英、日-英の翻訳がそれぞれ学習されていれば、日-韓の学習データがゼロでも翻訳が可能になる (zero shot learning と呼ばれる)。

この様に、「意味」はニューラルネットワークの状態とその変化として表現されることが明らかになってきている。これらの仕組みをより詳しく解析していくことにより、「ブラックボックス問題への対処」やシンボルグラウンディングの実現に近づいていくものと考えられる。

²³ *op.cit.*(20)

²⁴ M.Johnson et al., "Google's Multilingual Neural Machine Translation System: Enabling Zero-Shot Translation," arXiv:1611.04558. Arxiv webpage (2017 年 3 月閲覧) <<https://arxiv.org/abs/1611.04558>>

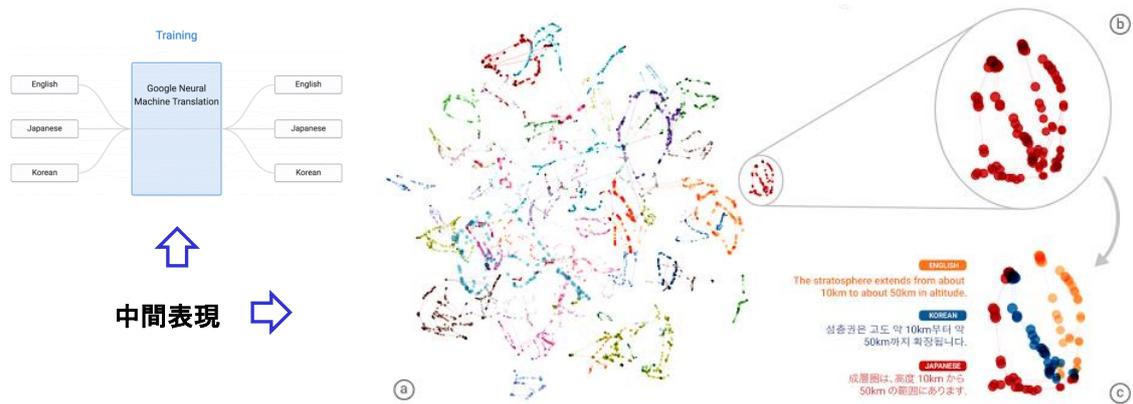


図 2.33 Google Neural Machine Translation の中間表現²⁵

²⁵ Ibid.

(2) ビッグデータ解析の技術力分布：Kaggle を用いた分析

ビッグデータ解析の分野において、Kaggle というコンペティションを実施するプラットフォームがある²⁶。Kaggle では、様々な企業が自社のデータを提供し、良い分析モデルを構築出来るかどうか競われる。企業が提供するデータを対象とし、アルゴリズムを問わずモデルの性能のみで評価するため、基礎的な研究よりも実践的な能力を評価することが可能である。また、参加チームは、組織としての参加よりも、個人ベースのチームでの参加が多いことが特徴である。

図 2.34 に、トップ 100 チームの国別割合（百分率）を示す²⁷。米国が一番多いことは論文、特許等の結果と同様であるが、ロシア、日本、ドイツ等、論文、特許等ではさほど有力では無い国が上位に入っている。論文、特許では優勢であった中国の存在感は薄い。

なお、優勝チームが利用したアルゴリズム分布では、コネクショニズムに属する深層学習と、シンボリズムに属する勾配ブースティング²⁸が多い（図 2.35）。

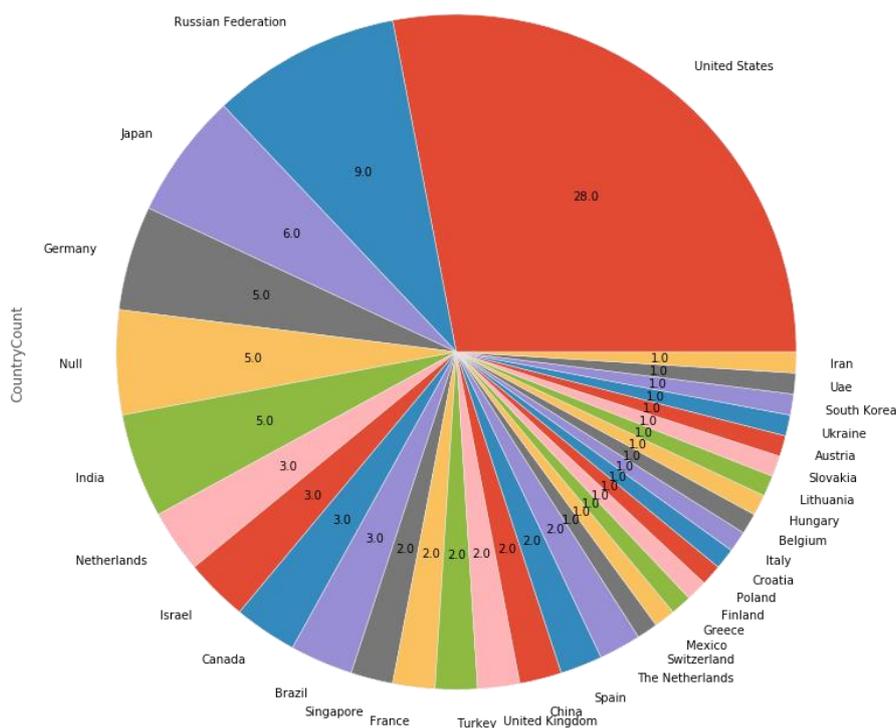


図 2.34 Kaggle のトップ 100 チームの国分布

²⁶ 2010 年 4 月から 2016 年 7 月までに行われたコンペティションのデータに基づく。Kaggle Webpage. (2017 年 3 月閲覧) <<https://www.kaggle.com/>>

²⁷ “Top-100 Kaggle users by Country,” Kaggle Webpage. (2017 年 3 月閲覧) <<https://www.kaggle.com/andreyg/top-100-kaggle-users-by-country>>

²⁸ 複数の機械学習手法を組み合わせる精度を高めるアンサンブル学習方法の一種。

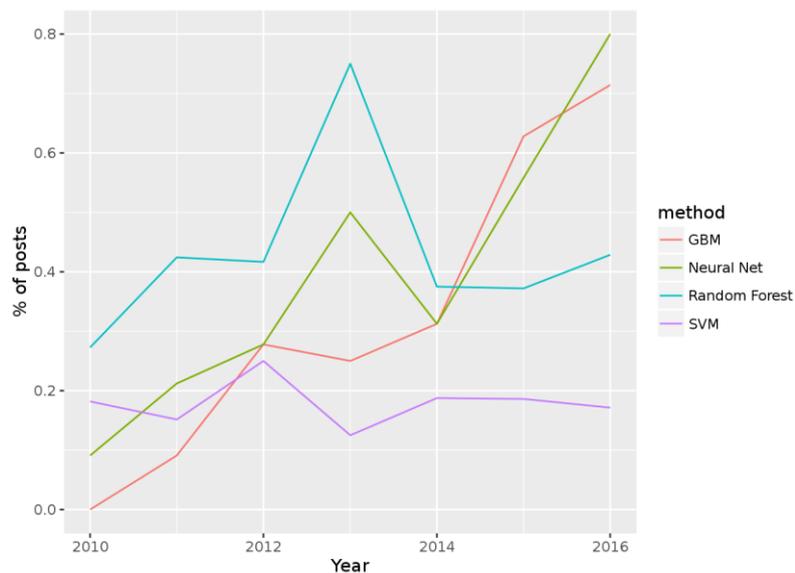


図 2.35 Kaggle 優勝チームが利用したアルゴリズム分布²⁹

GBM:勾配ブースティング、Neural Net:ニューラルネットワーク、
Random Forest:ランダムフォレスト、SVM:サポートベクターマシン

Kaggle コンテストの実例として、Otto Group Product Classification Challenge の事例を示す。

このコンテストは、ドイツの e-commerce の会社である Otto Group の 20 万種類以上の商品を、93 個の特徴量をもとに分類する精度を競うものであり、全 3,514 チームが参加した (図 2.36)。このコンテストで優勝したチームは、深層学習と勾配ブースティングの一種である Gradient Boost Decision Tree の組合せが用いられており、図 2.35 に示したトレンドと合致していることが分かる。

²⁹ “What algorithms are most successful on Kaggle? (in R),” Kaggle Webpage (2017 年 3 月閲覧)
<<https://www.kaggle.com/msjgriffiths/r-what-algorithms-are-most-successful-on-kaggle/notebook>>



図 2.36 Otto Group Product Classification Challenge の概要³⁰

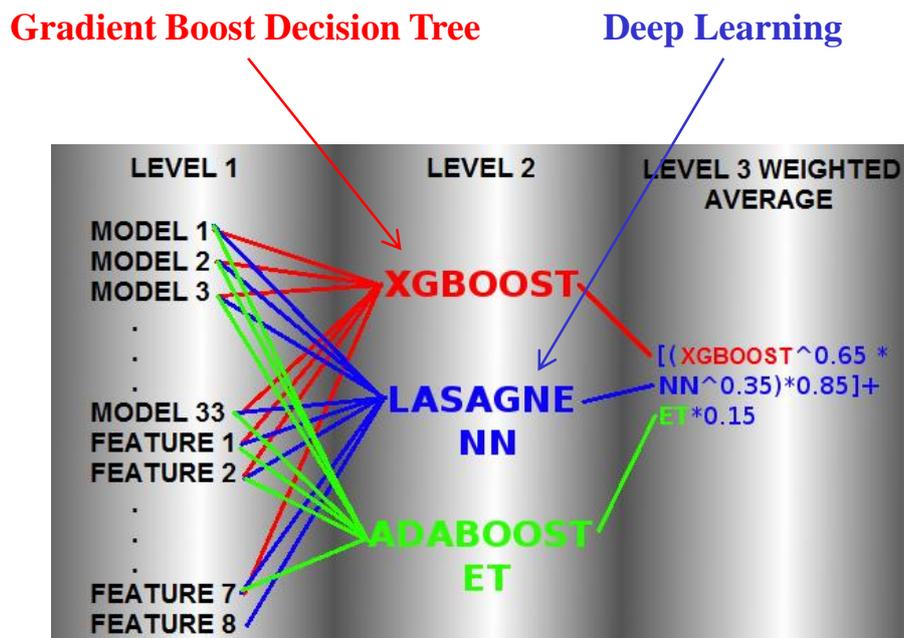


図 2.37 優勝チームの用いたアルゴリズム³¹

³⁰ “Otto Group Product Classification Challenge,” Kaggle Webpage (2017年3月閲覧)
 <<https://www.kaggle.com/c/otto-group-product-classification-challenge>>

³¹ “1st PLACE - WINNER SOLUTION - Gilberto Titericz & Stanislav Semenov,” Kaggle Webpage (2017年3月閲覧)
 <<https://www.kaggle.com/c/otto-group-product-classification-challenge/discussion/14335>>

2.3. 注力分野調査

サイバーセキュリティ技術、ビッグデータ解析技術、人工知能技術（知能ロボット、機械学習、汎用人工知能、認知科学の分野）を対象として、政府投資額、民間投資額の推移等のデータを基に、日米における注力分野の分析を実施した。

2.3.1. 概要・分析手法

日米の科学研究費助成のデータベースを用いて、サイバーセキュリティ技術、ビッグデータ解析技術、人工知能技術の3分野毎に、日米における直近5年間（2012～2016年）の投資額の推移を分析した。用いたデータベースは下表の通り、米国1件、日本2件である。

表 2.13 科学研究費助成データベース

国	データベース	URL
米国	GRANTS.GOV	http://www.grants.gov/web/grants/search-grants.html
日本	KAKEN	https://kaken.nii.ac.jp/ja/index/
	日本の研究.com	https://research-er.jp/

GRANTS.GOV では、米国政府系機関全体、及び、アメリカ国立科学財団(National Science Foundation; NSF) のみの投資額を算出した。

また、日本の研究.com に登録されている事業区分は下記の通りである。

- 科学技術振興機構(JST)
- 日本学術振興会(JSPS)
- 農業・食品産業技術総合研究機構(NARO)
- 厚生労働省(MHLW)
- 医薬基盤研究所(NIBIO)
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
- 文部科学省(MEXT)
- 内閣府(CAO)
- 農林水産省(MAFF)
- 防衛省(MOD)
- 環境省(MOE)
- 日本医療研究開発機構(AMED)
- 総務省(MIC)
- 国土交通省(MLIT)

各データベースでは、表 2.14 に示す検索式を用いてプロジェクト単位でデータ収集を行い、投資額を集計した。

表 2.14 検索キーワードリスト

技術	GRANTS.GOV	KAKEN, 日本の研究.com
サイバーセキュリティ技術	"cyber security" OR "information security" OR "cyber attack" OR "network security" OR "device security" OR "software vulnerability detection" OR "software safety assessment" OR "digital forensics" OR "encryption"	サイバーセキュリティ OR 情報セキュリティ OR サイバー攻撃 OR ネットワークセキュリティ OR デバイスセキュリティ OR ソフトウェア脆弱性 OR ソフトウェア安全性 OR デジタルフォレンジック OR 暗号化
ビッグデータ解析技術	"Knowledge discovery" OR "data mining" OR "Data Engineering" OR "Social Network Analysis" OR "Big Data" OR "bigdata" OR "Very Large Databases" OR "Knowledge Management" OR "data management"	知識発見 OR データマイニング OR データエンジニアリング OR ソーシャルネットワーク分析 OR ソーシャルネットワーク解析 OR ビッグデータ OR 大規模データ OR 知識マネジメント OR データマネジメント OR データサイエンス OR データビリティ
人工知能技術	"artificial intelligence" OR "machine learning" OR "neural network" OR "pattern recognition" OR "knowledge base" OR fuzzy OR NLP OR "natural language processing" OR "speech recognition" OR "image recognition" OR "character recognition"	人工知能 OR 機械学習 OR ニューラルネットワーク OR パターン認識 OR 推論システム OR 知識ベース OR ファジィ OR 自然言語処理 OR 音声認識 OR 画像認識 OR 文字認識 OR レコメンド

また、上記のデータベースを用いた集計の他、科学技術動向関連の各種先行レポートからも関連投資額について情報収集した。

2.3.2. 米国

(1) 政府系機関全体

図 2.38～図 2.40 に示す通り、3 分野全てで投資額は著しい増加傾向にある。また、3 分野共に 2016 年には投資額が突出して増加している。

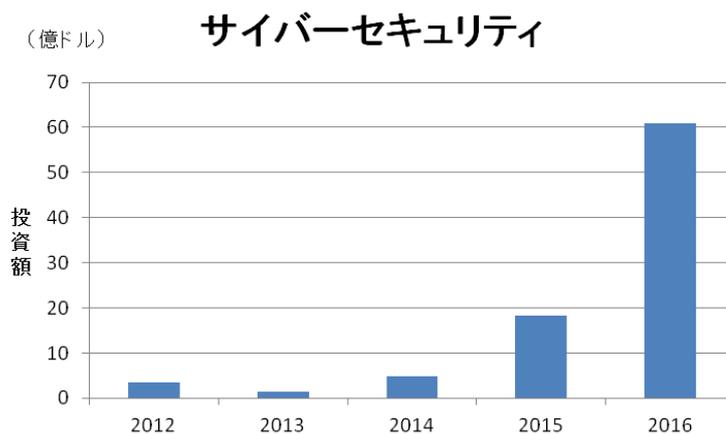


図 2.38 サイバーセキュリティ分野の投資額年次推移（政府系機関全体）

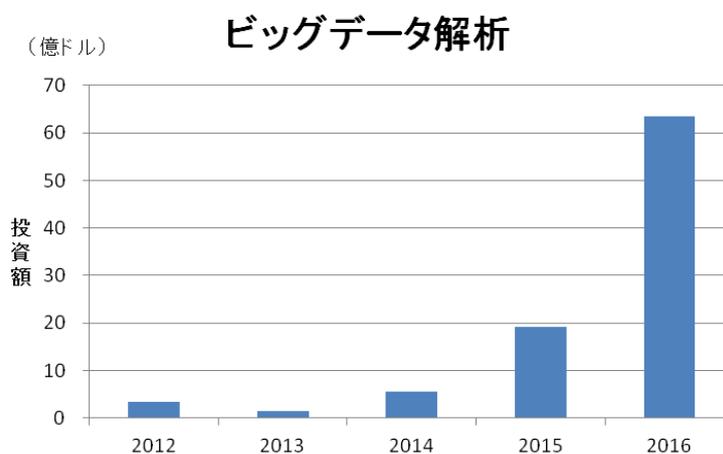


図 2.39 ビッグデータ解析分野の投資額年次推移（政府系機関全体）



図 2.40 人工知能分野の投資額年次推移（政府系機関全体）

なお、2016年10月に米国政府より発表された人工知能研究開発戦略の中で、2015年の

米国政府の AI 関連技術の研究開発に対する投資額が 11 億ドルに達したと記述されている。本調査項目における人工知能分野の投資額は、図 2.40 で示す通り 2015 年で 18 億ドル程度であり、差分はあるものの概ね妥当な集計結果であると言える。

(2) NSF のみ

図 2.41～図 2.43 に示す通り、3 分野全てで 2012～2015 年までは横ばい傾向が続いていたが、2016 年に突出して投資額が増加している。



図 2.41 サイバーセキュリティ分野の投資額年次推移 (NSF のみ)

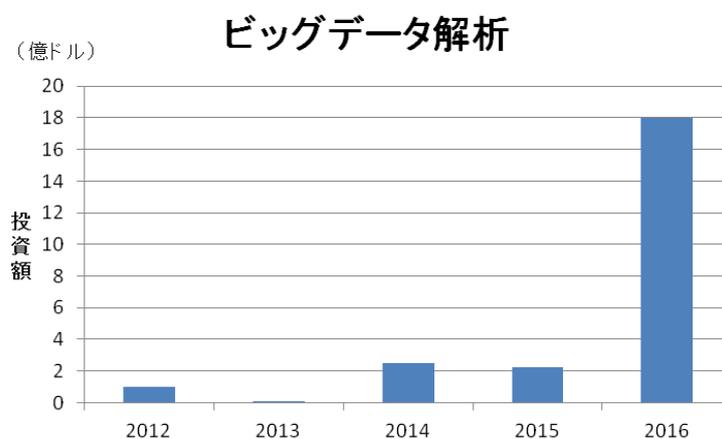


図 2.42 ビッグデータ解析分野の投資額年次推移 (NSF のみ)

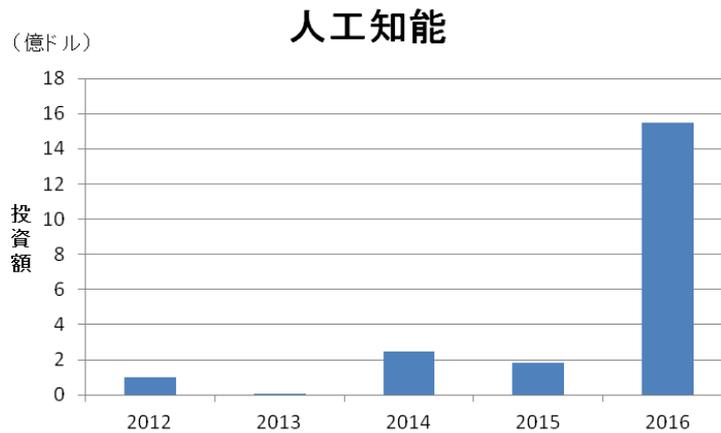


図 2.43 人工知能分野の投資額年次推移 (NSF のみ)

2.3.3. 日本

日本については、政府全体の分野別研究開発投資額に係る統計データを集計することは困難であるため、文部科学省および日本学術振興会が交付する科学研究費助成事業により行われた研究のデータベースである科学研究費助成事業データベース (KAKEN)³²と、日本の研究.com³³を併せて用いた。

(1) KAKEN を用いた投資額の集計

サイバーセキュリティ技術は 2013 年度以降減少傾向が続いていたが、2016 年度には投資額が著しく増加している (図 2.44)。なお、サイバーセキュリティ技術の 2016 年度の投資額では、名古屋工業大学のプロジェクト「サイバー攻撃早期警戒による、被害分離・遮断用サイバー・タグアウト手法の開発」が総投資額の半分以上を占めており、このような大型プロジェクトの有無が各年度の投資額に影響することを留意する必要がある。一方、ビッグデータ解析技術は 2014 年度に投資額が突出しているが、それ以外の年度は横ばい傾向にある (図 2.45)。また、人工知能技術は 2014 年度に一時的に投資額が減少したが、その後増加傾向にある (図 2.46)。

³² 「科学研究費助成事業データベース」 国立情報学研究所ウェブページ (2017 年 3 月閲覧) <<https://kaken.nii.ac.jp/ja/>>

³³ 「日本の研究.com」日本の研究ウェブページ (2017 年 3 月閲覧) <<https://research-er.jp/>>

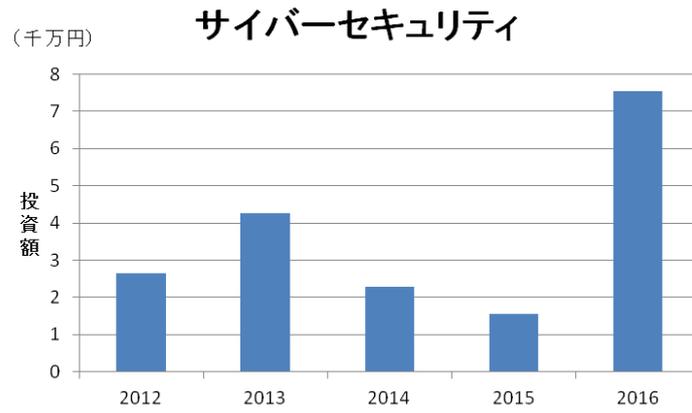


図 2.44 サイバーセキュリティ分野の投資額年次推移 (KAKEN)

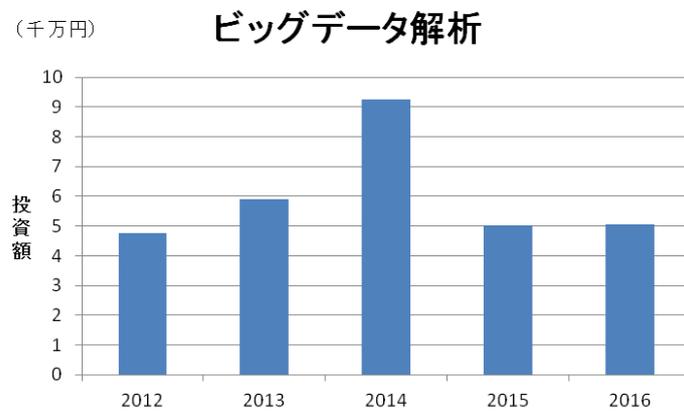


図 2.45 ビッグデータ解析分野の投資額年次推移 (KAKEN)



図 2.46 人工知能分野の投資額年次推移 (KAKEN)

(2) 日本の研究.com を用いた投資額の集計

図 2.47、図 2.48 に示すように、サイバーセキュリティ、ビッグデータ解析技術は、年度によって配分総額の大きいプロジェクトが開始されると投資額が突出する傾向に

ある。また、図 2.49 に示す通り、人工知能技術は増加傾向にある。

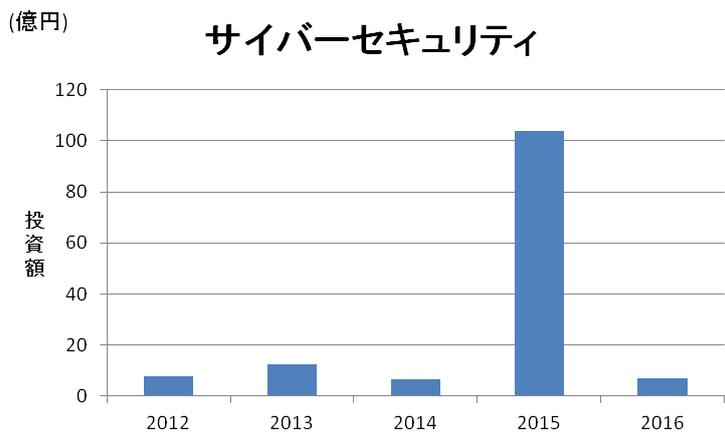


図 2.47 サイバーセキュリティ分野の投資額年次推移 (日本の研究.com)

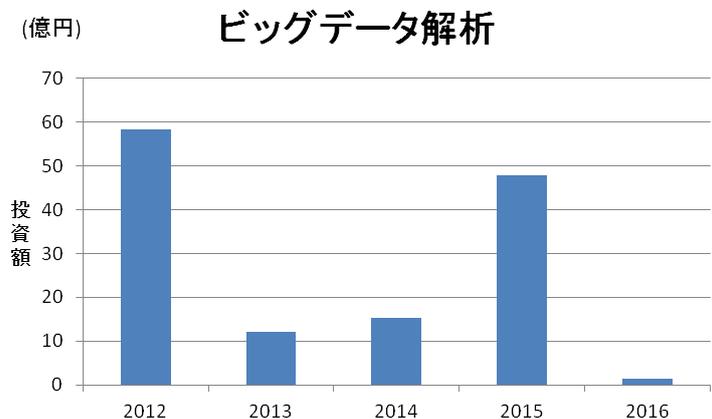


図 2.48 ビッグデータ解析分野の投資額年次推移 (日本の研究.com)

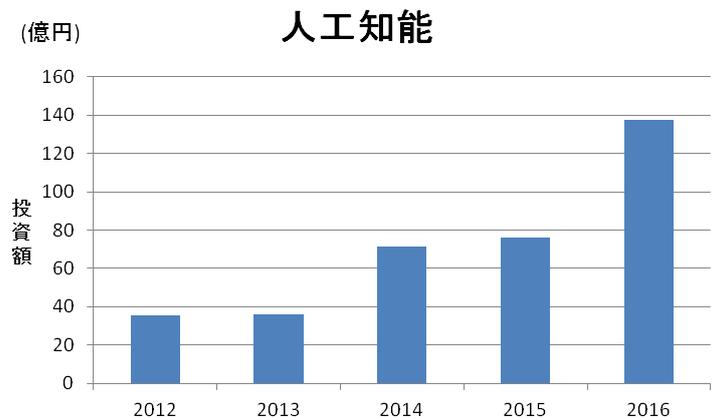


図 2.49 人工知能分野の投資額年次推移 (日本の研究.com)

(3) NICT の事業費

先述の通り、日本の研究.com の対象とする事業区分には国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が含まれていないため、NICT の事業報告書を基に、2011 年度から 2015 年度の NICT における事業費の推移を分析した。図 2.50 に示す通り、事業費は毎年度微増している。



図 2.50 NICT 事業費の年次推移³⁴

2.3.4. 中国

中国においては、日本や米国のような公開の科学研究費データベースは現状では存在しない可能性が高いが、中国の第 13 次 5 年計画では、重大プロジェクトの一つに「脳科学と人工知能研究」を掲げており、人工知能研究の次のフェーズとして **Artificial Intelligence 2.0** の開発を推進している（図 2.51、図 2.52）。

³⁴ NICT 2015 年度事業報告書よりみずほ情報総研作成。国立研究開発法人情報通信研究機構ウェブページ（2017 年 3 月閲覧） <<https://www.nict.go.jp/disclosure/business-report-2015.pdf>>

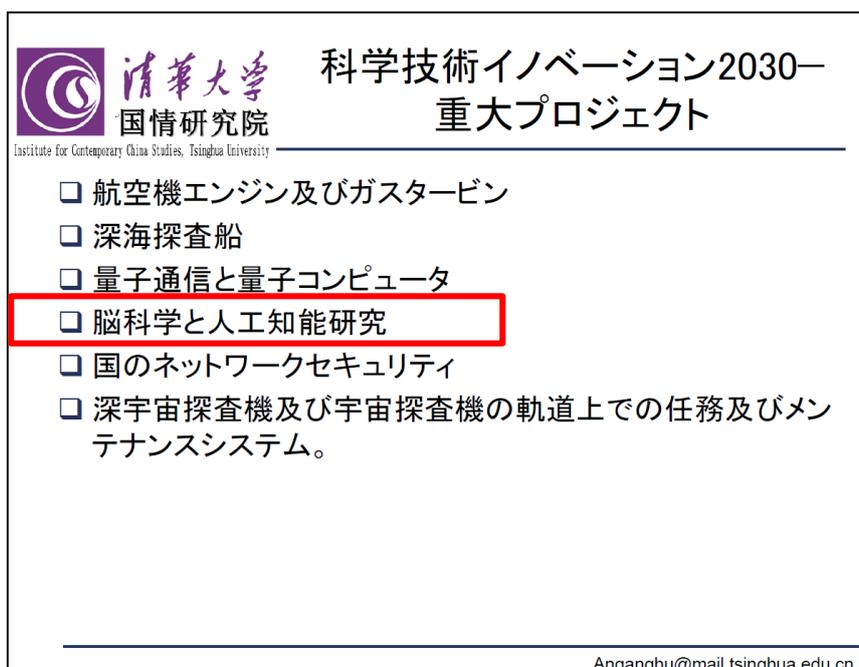


図 2.51 中国における科学技術イノベーション 2030 の重大プロジェクト³⁵



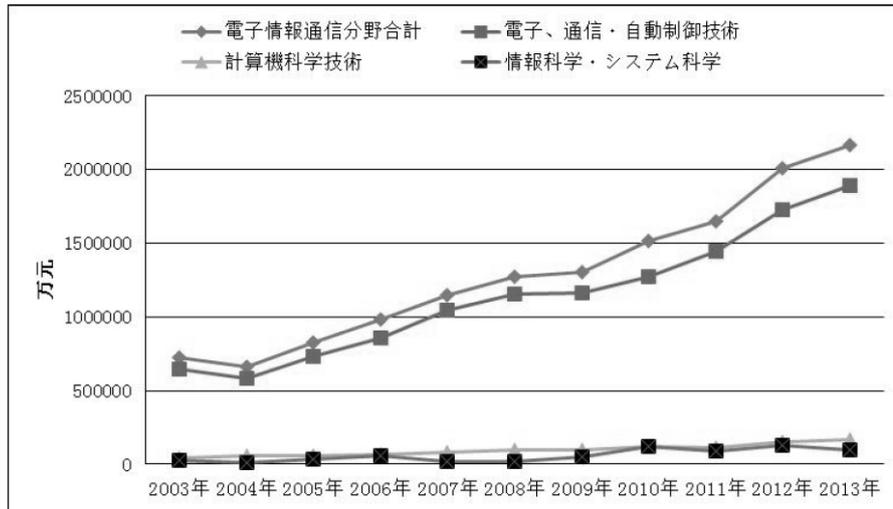
図 2.52 Artificial Intelligence 2.0³⁶

サイバーセキュリティ技術、ビッグデータ解析技術、人工知能技術という詳細な枠組みでの投資額の情報ではないものの、中国科技統計年鑑には、電子情報通信分野（「情報科学・システム科学」、「電子、通信・自動制御技術」、「計算機科学技術」を含む）における研究開発機関、及び高等教育機関の研究開発内部支出の年推移が掲載されている。図 2.53、図 2.54

³⁵胡 鞍鋼「中国「第13次5ヵ年計画」-中国及び世界への影響」、RIETI BBL セミナー プレゼンテーション資料. 独立行政法人経済産業研究所ウェブページ (2017年3月閲覧)
<http://www.rieti.go.jp/jp/events/bbl/16031801_hu.pdf>

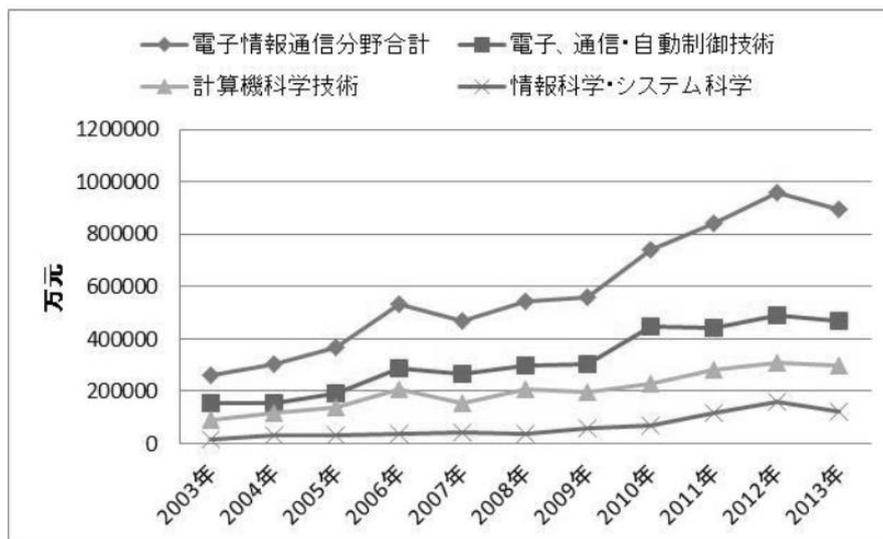
³⁶ Y.Pan, "Heading toward Artificial Intelligence 2.0," Engineering, Vol.2(4), pp.409-413(2016). (2017年3月閲覧) <<http://engineering.org.cn/article/2016/2095-8099/12324>>

にそれぞれ示す通り支出額は増加傾向にある。



※：労務費、科学研究業務費、管理費、基本建設投資ではない有形固定資産調達や科学研究基礎建設支出及びその他科学技術活動に利用する支出を含む。生産的な活動支出や返済支出等は含まない(以下同じ)。2008年以降は「投入経費」。
出典：「中国科技統計年鑑」(2004～2014各年版、国家統計局・科学技術部編、中国統計出版社)

図 2.53 研究開発機関の電子情報通信分野での研究開発内部支出の推移³⁷



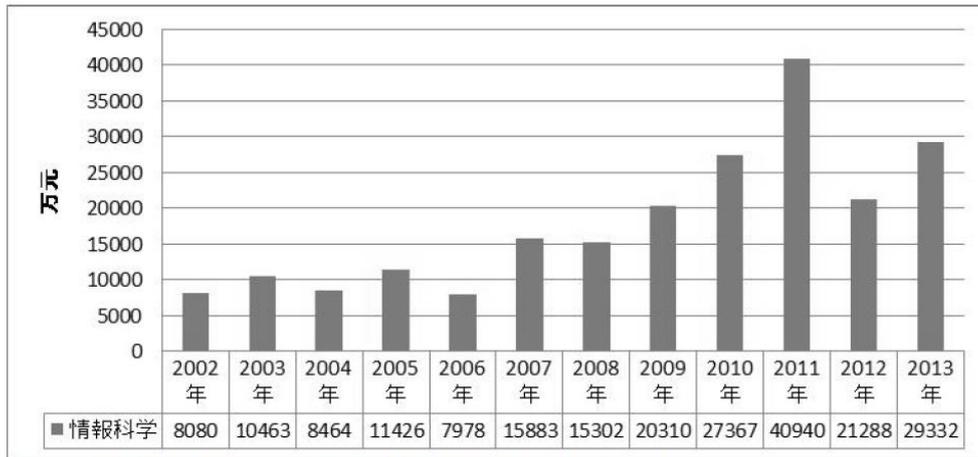
※：前掲。2009年以降は「投入経費」
出典：「中国科技統計年鑑」(2004～2014各年版、国家統計局・科学技術部編、中国統計出版社)

図 2.54 高等教育機関の電子情報通信分野での研究開発内部支出の推移³⁸

また、国家重点基礎研究発展計画(973計画)においては情報科学分野への投資額は年度によって変動があるものの着実に増加している(図 2.55)。国家タイムズ計画においては電子情報技術に対し、2007年に3,600億元が投入され、この年を除くとほぼ一定の資金が投入されている(図 2.56)。

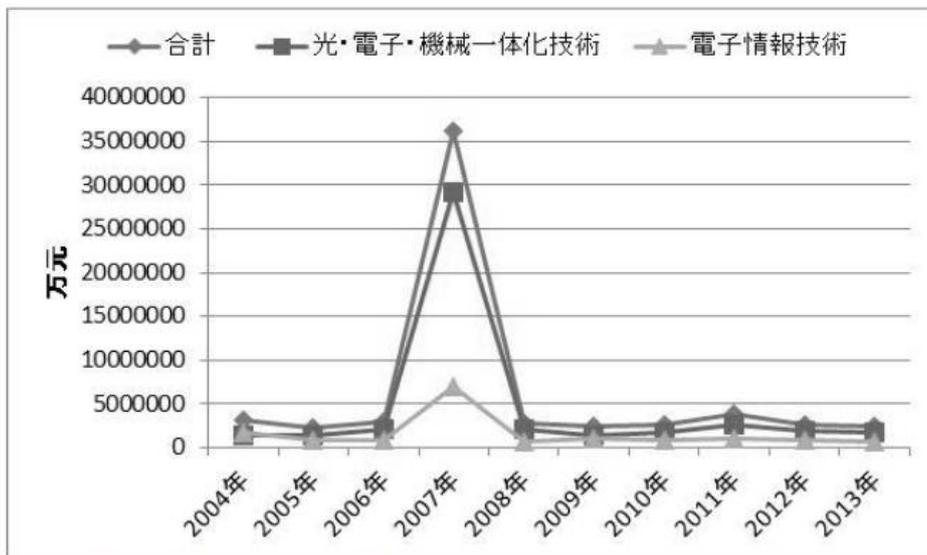
³⁷ 科学技術振興機構 中国総合研究交流センター「中国の科学技術の現状と動向」科学技術振興機構ウェブページ(2017年3月閲覧) <http://www.spc.jst.go.jp/investigation/downloads/r_2016_06.pdf>

³⁸ Ibid.



出典:「中国科技統計年鑑」(2003~2014各年版、国家統計局・科学技術部編、中国統計出版社)

図 2.55 国家重点基礎研究發展計画（973 計画）における情報科学分野への政府中央支出の推移³⁹



※:政府資金、企業資金の他に銀行借入れ等が含まれる。

出典:「中国科技統計年鑑」(2005~2014各年版、国家統計局・科学技術部編、中国統計出版社)

図 2.56 国家タイムズ計画において電子情報分野に投入された資金の推移⁴⁰

2.3.5. 同一指標による国別比較

(1) NISTEP 科学技術指標 2016

科学技術・学術政策研究所（National Institute of Science and Technology Policy; NISTEP）発行の「科学技術指標 2016」では、日米独の企業における産業分類別研究開発費について報告されている（図 2.57）。米国、ドイツに比べ、日本は非製造業への研究開発費の配分が小さい。情報通信業の企業の研究開発費は米国、ドイツともに増加傾向、日本では横ばい傾向にある。

³⁹ Ibid.

⁴⁰ Ibid.

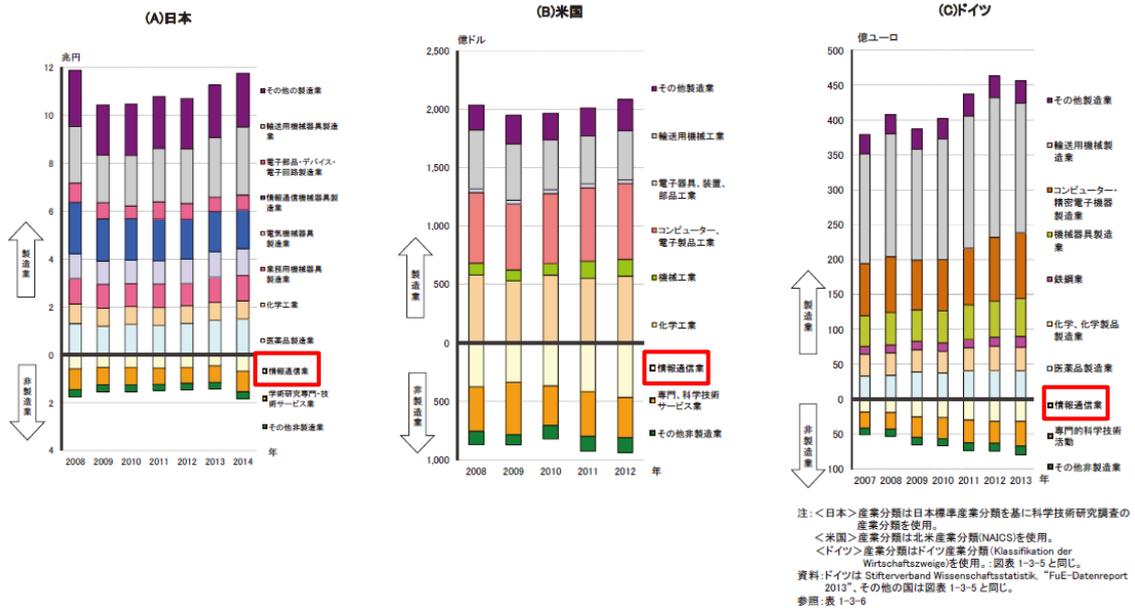


図 2.57 日米独の企業における産業分類別研究開発費⁴¹

(2) Science&Engineering Indicators 2016

NSF が隔年で発行する「Science & Engineering Indicators 2016」では、主要国（米国、フランス、ドイツ、英国、中国、日本、韓国）の産業分類毎に企業の研究開発費について報告している。ICT 分野では、米国が他国の 10 倍以上の研究開発費を投じている。なお、中国についてはデータが無い模様である。

Table 4-11 Business expenditures for R&D, by selected countries and top R&D-performing industries: 2012 or most recent year

Industry	Section	Division	United States (2011)	France (2012)	Germany (2012)	United Kingdom (2012)	China (2012)	Japan (2012)	South Korea (2012)
Millions of current PPP dollars									
Total business enterprise	A-U	1-99	294,093	35,237	68,469	24,610	223,169	116,321	50,245
Manufacturing	C	10-33	201,361	17,691	58,977	9,837	194,810	102,306	44,127
Chemicals and chemical products		20	9,375	1,060	4,450	378	17,559	7,138	2,655
Pharmaceuticals, medicinal chemical, and botanical products		21	45,949	946	5,209	725	8,062	12,484	1,214
Computer, electronic, and optical products		26	62,704	4,050	9,409	1,405	33,819	28,291	25,081
Motor vehicles, trailers, and semi-trailers		29	11,695	2,212	22,098	2,126	16,230	26,839	5,688
Other transport equipment		30	29,185	3,685	3,415	2,025	9,754	586	886
Air and spacecraft and related machinery		303	26,054	3,368	3,026	1,938	NA	309	185
Total services	G-U	45-99	88,945	16,532	8,975	14,300	14,156	12,403	4,391
Information and communication	J	58-63	95,124	3,845	4,042	3,483	NA	5,164	2,364
Publishing activities		58	28,435	930	NA	74	NA	6	1,518
Software publishing		582	27,965	920	NA	34	NA	NA	1,507

Industry	Section	Division	United States (2011)	France (2012)	Germany (2012)	United Kingdom (2012)	China (2012)	Japan (2012)	South Korea (2012)
Computer programming, consultancy, and related activities		62	13,259	1,877	3,072	2,250	NA	2,086	245
Professional, scientific, and technical activities	M	69-75	24,960	10,282	3,997	8,583	NA	6,280	1,037
Scientific R&D		72	15,301	4,334	2,155	6,744	NA	5,694	273
Percentage of total business enterprise									
Total business enterprise	A-U	1-99	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Manufacturing	C	10-33	68.5	50.2	86.1	40.0	87.3	88.0	87.8
Chemicals and chemical products		20	3.2	3.0	6.5	1.5	7.9	6.1	5.3
Pharmaceuticals, medicinal chemical, and botanical products		21	15.6	2.7	7.6	2.9	3.6	10.7	2.4
Computer, electronic, and optical products		26	21.3	11.5	13.7	5.7	15.2	24.3	49.9
Motor vehicles, trailers, and semi-trailers		29	4.0	6.3	32.3	8.6	7.3	23.1	11.3
Other transport equipment		30	9.9	10.5	5.0	8.2	4.4	0.5	1.8
Air and spacecraft and related machinery		303	8.9	9.6	4.4	7.9	NA	0.3	0.4
Total services	G-U	45-99	30.2	46.9	13.1	58.1	6.3	10.7	8.7
Information and communication	J	58-63	18.7	10.9	5.9	14.2	NA	4.4	4.7
Publishing activities		58	9.7	2.6	NA	0.3	NA	0.0	3.0

図 2.58 主要国の企業による研究開発費（産業分類毎）⁴²

⁴¹ 科学技術・学術政策研究所「科学技術指標 2016」科学技術・学術政策研究所ウェブページ（2017年3月閲覧）
 <http://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-RM251-Full_J.pdf>

⁴² National Science Foundation, "Science & Engineering Indicators." National Science Foundation Webpage. (2017年3月閲覧) <<https://www.nsf.gov/statistics/2016/nsb20161/uploads/1/nsb20161.pdf>>

3. 社会受容の醸成に向けた取組事例に関する調査

3.1. 新技術に対する社会受容の醸成に向けた取組事例の調査

3.1.1. 対象国の選定

サイバーセキュリティ技術、ビッグデータ解析技術、人工知能技術の分野において、我が国より先進性が見受けられる国として、米国および英国を選定した。先進性を一般的に定義することは困難であるため、個別分野での研究開発における各国の状況から定性的に先進性の判断を実施した。以下に各々の選定理由を示す。

米国は、サイバーセキュリティへの国としての取組みのレベルを評価する The Global Cybersecurity Index(GCI) において1位であるとともに、創薬分野における The Precision Medicine Initiative、脳科学分野における The Brain Initiative など、様々な分野におけるビッグデータの取得と解析を国家として推進している。民間部門においても、Google、Facebook、Microsoft 等のいわゆる情報系企業を中心にビッグデータの解析に係るデータベース技術の研究開発が行われている。さらに、人工知能分野においても、深層学習への取組みにおいて Google 等の情報系企業や Stanford 大学、MIT 等の大学において研究開発は活発である。

英国は、GCI において5位であるとともに、人工知能の研究開発において AlphaGo など先端的な研究を多く実施している Google DeepMind も存在するため、対象国として選定した。

さらに、国ではないが、EU においてロボット技術について議論が行われているため、調査対象に加えた。

3.1.2. 調査対象

社会受容に向けての課題と解決方法には、社会的観点（法律・制度等）と技術的観点（課題を克服する技術）が存在するとの観点から、調査対象の範囲を設定した。社会受容の醸成に向けた社会的観pointsの課題の例としては、人工知能に係る倫理、雇用喪失の問題、技術的観pointsの課題は、倫理のうち説明責任に係る技術的課題（説明可能な人工知能）が潜在的には存在し得ると考えられるため、この様な内容を含む可能性のある事例について探索を実施した。

3.1.3. 新技術に対する社会受容の醸成に向けた取組事例の調査 社会的観点

米国、英国、EU を対象として、サイバーセキュリティ、ビッグデータ解析、人工知能の社会受容の醸成に向けた取組事例について調査を実施した。表 3.1 に、これらの国における社会受容の醸成に向けた取組の一覧を示す。米国については、人工知能の活用を推進している主に情報系の企業が社会受容に向けた取組を開始している状況である。例えば、Microsoft が CEO である Satya Nadella が人工知能の開発原則を講演で発表している他、Amazon、Google、Facebook、IBM、Microsoft、Apple は人工知能

が社会に及ぼす影響を議論する NPO”Partnership on AI”を設立している。米国政府も、2016 年に人工知能に係る規制、安全性、雇用や経済への影響等について整理する文書を発表した。この他、米国を始め様々な国で人工知能等を用いて自律性を高めた無人機等の兵器（致死性自律型兵器、Lethal Autonomous weapons system; LAWS）の開発が進められており、これらの規制についての議論が国連の特定通常兵器使用禁止・制限条約（CCW）の非公式会合において 2014 年 5 月に初めて議論され、議論が継続している⁴³。米国では、2016 年 10 月発表の政策文書 “Preparing for the future of the Artificial Intelligence”（表 3.1 参照）で LAWS への米国としての対応に言及し、「自律的に目標の検出・殺傷が出来る兵器は、正式な開発に入る前に、国防総省の上級レベルのレビューを受け承認を受ける必要があるものとする。ただしこれを禁じたり、奨励したりするものではない」「まもなく多くの新規機能が迅速に開発、運用可能になるだろう」としている。

その他、英国では Oxford 大学による Future of Humanitiy Institute が設立され、安全な AI を実現するための研究等が推進されている。EU では、ロボティクスに関連して、法律と倫理の面からガイドラインの議論が開始されている。

表 3.2 に、これらの動きの中で、著名な AI の研究者が多数議論に参加している米国 Future of Life Institute によるアシロマ AI 原則（2017 年 2 月発表）の内容を示す。本原則は、スティーブン・ホーキング、レイ・カーツワイルを含む 2,300 人の支持を集めているとされている。

⁴³ “2016 Meeting of Experts on LAWS,” The United National Office at Geneva Webpage. （2017 年 3 月閲覧）
<[http://www.unog.ch/80256EE600585943/\(httpPages\)/37D51189AC4FB6E1C1257F4D004CAFB2?OpenDocument](http://www.unog.ch/80256EE600585943/(httpPages)/37D51189AC4FB6E1C1257F4D004CAFB2?OpenDocument)>

表 3.1 社会受容の醸成に向けた取組一覧

国	分野	開始年	実施主体	報告書タイトル等	概要	URL
米	論理	2014	Google AI ethics	-	(詳細不明)	-
米	論理	2016	Microsoft	The Partnership of the Future	AIの開発原則を発表。	http://www.slate.com/articles/technology/future_tense/2016/06/microsoft_ceo_satya_nadella_humans_and_ai_can_work_together_to_solve_society.html
米	論理	2016	政府(Whitehouse)	preparing for the future of artificial intelligence	AIに係る規制、安全性等について整理。	https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf
米	経済・雇用	2016	政府(Whitehouse)	Artificial Intelligence, Automation, and the Economy	AIの社会実装に係る雇用や経済への影響について整理。	https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/whitehouse.gov/files/documents/Artificial-Intelligence-Automation-Economy.PDF
米	一般	2017	Partnership on AI	-	Amazon、Google、Facebook、IBM、Microsoft、Appleが設立したNPO。AIが社会に及ぼす影響に関し、心理学、哲学、経済学、金融、社会学、公共政策論、法学等様々な観点から議論を実施する。2017年2月に第一回理事会を実施。	https://www.partnershiponai.org/
米	一般	2017	Future of Life Insitute	Asiloma AI Principles	主に論理的な観点から、AI研究に関する原則、AIが実現すべき価値、将来の課題について策定。	https://futureoflife.org/ai-principles/
英	政策	-	Oxford大 The future of humanity	-	DeepMind、OpenAI等と、先進的AIの政策的インプリケーションについて議論。	https://www.fhi.ox.ac.uk/
国際	法律・論理	2012	EU	Guidelines for Regulating Robotics	ロボット技術に関する法律と論理の側面について議論。	http://www.robotlaw.eu/
国際	論理	2016	G7情報通信相会合	-	AIの開発原則について議論していくことを合意。	-

表 3.2 アシロマ AI 23 原則

No	分類	タイトル	内容
1	Research Issues 研究課題	Research Goal 研究目標	AI 研究の目標は、指向性が無限定な知性ではなく、有益な知性を生み出すことである。
2		Research Funding 研究資金	AI への投資には、コンピュータサイエンス、経済、法律、倫理、および社会研究における厄介な問題を含む、有益な利用の確保に関する研究のための資金提供が伴われるべきである。 ・私たちが望む将来の AI システムを高度に堅牢にし、誤動作やハッキングをされなくするにはどうしたらよいか。 ・人々の資源や目標を維持しながら、自動化を通じ、繁栄するにはどうしたらよいか。 ・AI に関連するリスクをより公正かつ効率的に管理するために、法的システムをどのように改新したらよいか。 ・AI はどのように価値観を合わせ、どのような法的・倫理的地位を持っていなければならないのか。
3		Science-Policy Link 科学と政策のリンク	AI 研究者と政策立案者との間には、建設的で健全な交流が必要である。
4		Research Culture 研究文化	AI の研究者や開発者との間では、協力、信頼及び透明性の文化を育むべきである。
5		Race Avoidance 競争の回避	AI システムを開発しているチームは、安全基準の上で手抜き作業を避けるために、積極的に協力し合う必要がある。
6		Safety 安全性	AI システムはその運用期間を通して、安心して安全な検証を可能にしなければならない。
7		Failure Transparency 障害の透過性	AI システムに不具合が発見された場合は、その原因を確かめられるようにしなければならない。
8		Judicial Transparency 法的透明性	自律システムが法的意思決定等が必要な場合は、権限のある人間が監査を行い、申し分ない説明を提供しなければならない。

9	Responsibility 責任	高度な AI システムの設計者および構築者は、その使用、誤用および行動の道徳的影響に関わる利害関係者であり、その影響を形作る責任と機会がある。
10	Value Alignment 価値観の一致	高度に自律的な AI システムは、目標や行動が人間の価値観と一致するように設計する必要がある。
11	Human Values 人間の価値	AI システムは、人間の尊厳、権利、自由及び文化的多様性の理想に適合するように設計され運用されるべきである。
12	Personal Privacy 個人のプライバシー	AI システムがデータを分析して利用する能力を与えるには、生成するデータにアクセスし、管理及び制御する権利を人々は有するべきである。
13	Liberty and Privacy 自由とプライバシー	個人情報への AI の適用は、人間が持つ、あるいは持つとされている自由を不当に侵害してはならない。
14	Shared Benefit 利益の共有	AI 技術は、できるだけ多くの人々に利益をもたらし、力を与えるべきである。
15	Shared Prosperity 繁栄の共有	AI によって作られた経済的繁栄は、すべての人類に利益をもたらすために広く共有されるべきである。
16	Human Control 人間のコントロール	人間が選択した目標を達成するために、AI システムに決定を委任するのか、する場合はどのように決定するべきかは、人間が決めるべきである。
17	Non- subversion 非転覆	高度 AI システムの制御によって得られる力は、健全な社会に不可欠な社会的、市民的プロセスを覆すのではなく、尊重し、改善するべきである。
18	AI Arms Race AI の軍拡競争	致命的な自動武器の軍備拡大競争は避けなければならない。
19	Longer-term Issues 将来の課題	Capability Caution AI の能力 意見の一致がないので、将来の AI 能力の上限に関する強い前提は避けるべきである。

20	Importance 重要性	高度な AI は、地球上の生命の歴史に深刻な変化をもたらす可能性があり、相応の注意と資源をもって計画され、管理されるべきである。
21	Risks リスク	AI システムによってもたらされるリスク、特に壊滅的または存亡のリスクは、予想される影響に見合った計画および緩和努力が必要にちがいない。
22	Recursive Self- Improvement 再帰的の自己 改善	自己進化、または自己複製によって質的・量的に急激に拡大を目的とした AI システムは、厳重な安全性および管理措置の対象とならなければいけない。
23	Common Good 共通の利益	超知能は、ある州や組織というよりも、広く共有された倫理観のために、またすべての人類のためにのみ開発されるべきである。

3.1.4. 我が国での取組

我が国には、人工知能の倫理に係る取組として人工知能学会 倫理指針がある。人工知能学会では、倫理委員会を 2014 年に設立し⁴⁴、そこでの議論をもとに倫理指針を策定した（2017 年 2 月 28 日理事会承認）。表 3.3 に、倫理指針の概要を示す⁴⁵。本倫理指針で特徴的な点は、研究者が作り出す人工知能自体も、本倫理指針を遵守するという再帰的な構造を含んでいることである（第 9 条）⁴⁶。この倫理指針を発表することにより、「大枠での合意を作り、…対話を通して本倫理指針の解釈および見直しをしていきたい」としている⁴⁷。

その他、文部科学省「科学技術イノベーション政策における『政策のための科学』推進事業」の基盤的研究・人材育成拠点である大阪大学・京都大学では、公共圏における科学技術・教育研究拠点 (STiPS) として、科学技術の倫理的・法的・社会的問題 (ELSI) に関する研究と教育を行っている⁴⁸。

⁴⁴ 2014 年 9 月に理事会により承認。人工知能学会倫理委員会ウェブページ（2017 年 3 月閲覧）<<http://ai-elsi.org/about/purpose>>

⁴⁵ 人工知能学会倫理指針（2017 年 3 月閲覧）<<http://ai-elsi.org/wp-content/uploads/2017/02/人工知能学会倫理指針.pdf>>

⁴⁶ 松尾豊「人工知能学会倫理指針」について」人工知能学会倫理委員会ウェブページ（2017 年 3 月閲覧）<<http://ai-elsi.org/archives/471>>

⁴⁷ *Ibid.*

⁴⁸ 「公共圏における科学技術・教育研究拠点」公共圏における科学技術・教育研究拠点ウェブページ（2017 年 3 月閲覧）<<http://stips.jp/about/>>

表 3.3 人工知能学会倫理指針の概要

No	タイトル	内容
1	人類への貢献	人工知能学会会員は、人類の平和、安全、福祉、公共の利益に貢献し、基本的人権と尊厳を守り、文化の多様性を尊重する。人工知能学会会員は人工知能を設計、開発、運用する際には専門家として人類の安全への脅威を排除するように努める。
2	法規制の遵守	人工知能学会会員は専門家として、研究開発に関わる法規制、知的財産、他者との契約や合意を尊重しなければならない。人工知能学会会員は他者の情報や財産の侵害や損失といった危害を加えてはならず、直接的のみならず間接的にも他者に危害を加えるような意図をもって人工知能を利用しない。
3	他者のプライバシーの尊重	人工知能学会会員は、人工知能の利用および開発において、他者のプライバシーを尊重し、関連する法規に則って個人情報の適正な取扱いを行う義務を負う。
4	公正性	人工知能学会会員は、人工知能の開発と利用において常に公正さを持ち、人工知能が人間社会において不公平や格差をもたらす可能性があることを認識し、開発にあたって差別を行わないよう留意する。人工知能学会会員は人類が公平、平等に人工知能を利用できるように努める。
5	安全性	人工知能学会会員は専門家として、人工知能の安全性及びその制御における責任を認識し、人工知能の開発と利用において常に安全性と制御可能性、必要とされる機密性について留意し、同時に人工知能を利用する者に対し適切な情報提供と注意喚起を行うように努める。
6	誠実な振る舞い	人工知能学会会員は、人工知能が社会へ与える影響が大きいことを認識し、社会に対して誠実に信頼されるように振る舞う。人工知能学会会員は専門家として虚偽や不明瞭な主張を行わず、研究開発を行った人工知能の技術的限界や問題点について科学的に真摯に説明を行う。
7	社会に対する責任	人工知能学会会員は、研究開発を行った人工知能がもたらす結果について検証し、潜在的な危険性については社会に対して警鐘を鳴らさなければならない。人工知能学会会員は意図に反して研究開発が他者に危害を加える用途に利用される可能性があることを認識し、悪用されることを防止する措置を講じるように努める。また、同時に人工知能が悪用されることを発見した者や告発した者が不利益を被るようなことがないように努める。
8	社会との対話と自己研鑽	人工知能学会会員は、人工知能に関する社会的な理解が深まるよう努める。人工知能学会会員は、社会には様々な声があることを理解し、社会から真摯に学び、理解を深め、社会との不断の対話を通じて専門家として人間社会の平和と幸福に貢献することとする。人工知能学会会員は高度な専門家として絶え間ない自己研鑽に努め自己の能力の向上を行うと同時にそれを望む者を支援することとする。
9	人工知能への倫理遵守の要請	人工知能が社会の構成員またはそれに準じるものとなるためには、上に定めた人工知能学会員と同等に倫理指針を遵守できなければならない。

3.2. 新技術に対する社会受容の醸成に向けた取組事例の調査 技術的観点

深層学習に代表されるニューラルネットワークは、高精度な予測が可能になったとしても、入力と出力の関係の説明が困難であるため（ブラックボックス問題）、AIを実用にした場合に生じる危険や損害の責任をどこに求めるかが社会実装において問題となる。2.2.3項で記述したニューラルネットワークと記号的処理を融合させるための研究は、このブラックボックス問題を解決することにも資することとなる。

直接的に説明可能なニューラルネットワークを作成するプロジェクトの例としては、国防高等研究計画局（Defense Advanced Research Projects Agency; DARPA）による Explainable Artificial Intelligence(XAI)プロジェクトがある。XAIでは、以下ことが目標とされている（図 3.1）。

- AIシステムが出す意思決定、レコメンド、アクションの理由を説明可能にする。
- 説明可能なモデルの生成方法
- インターフェースの設計
- 分かり易い説明の心理的モデル
- Human-Machine-Interface（可視化、言語理解、言語生成、対話）

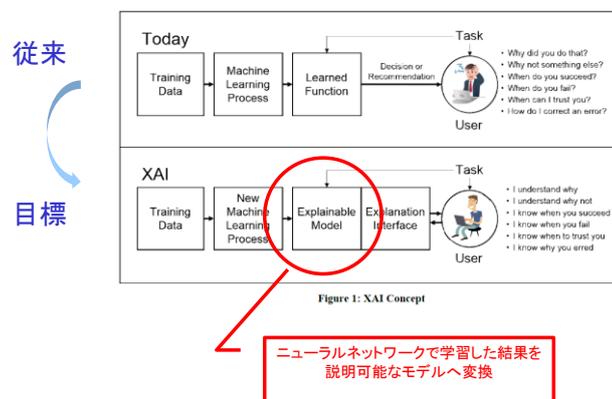


図 3.1 XAI プロジェクトの概要⁴⁹

⁴⁹ Defense Advanced Research Projects Agency, “Broad Agency Announcement Explainable Artificial Intelligence (XAI),” DARPA-BAA-16-53, August 10, 2016. Defense Advanced Research Projects Agency Webpage（2017年3月閲覧） <<http://www.darpa.mil/attachments/DARPA-BAA-16-53.pdf>>

4. まとめ

本委託業務では、科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」を推進するための資とすることを目的として、ビッグデータを扱うサイバーセキュリティ技術、ビッグデータ解析技術、人工知能技術に対して、技術力及び注力分野の観点から、諸外国と我が国の論文件数と特許件数によるベンチマーク調査を実施した。対象とした分野の細分類まで含め、多くの技術項目において、米国の優位、近年の中国の追い上げが確認されており、我が国が劣後してしまっていることは否めない。特に米国では、例えば人工知能における知識表現・論理・推論、自然言語処理等、今後主要な研究テーマの一つとなっていくと予想される分野に関し、先行的に研究に取り組まれている状況が伺われた。

さらに、これらの技術に対する社会受容の醸成に向けた取組事例の調査を実施した。特に人工知能の倫理にまつわる諸問題については、いくつかの先進的な国において議論が開始されており、概要的な指針等が発表されている状況である。今後社会へ実装されていくにあたって、これらの指針をもとに各分野での検討が進んでいくものと考えられる。

本調査は、平成 28 年度科学技術総合研究委託事業によりみずほ
情報総研株式会社が委託を受けて実施したものです。

「科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」
推進事業における超スマート社会を支える基盤技術に関する海
外動向の調査分析」報告書

平成 29 年 3 月