

ビッグデータの利活用に関する 現状・動向・課題

平成30年4月

(株) IT 企画 才所敏明

toshiaki.saisho@advanced-it.co.jp

本レポートは、平成29年度の一般財団法人新技術振興渡辺記念会の助成を受けて一般財団法人公務人材開発協会が実施した「社会インフラ分野におけるビッグデータの利活用に関する調査研究」の成果報告書の、(株) IT 企画の才所が執筆を担当した第1章を再編集したものである。

目次

第1章	ビッグデータとは	2
第2章	ビッグデータで取り扱うデータの現状・動向	3
第3章	ビッグデータの構成に関する現状・動向	6
第4章	ビッグデータの分析に関する現状・動向	10
第5章	個人情報を含むビッグデータの第三者提供	12
第6章	ビッグデータの利活用状況	14
6.1.	ビッグデータに関する市場予測	14
6.2.	米国	14
6.3.	EU	16
6.4.	日本	16
第7章	ビッグデータ利活用推進上の課題・留意点	19
7.1.	ビッグデータシステム利活用基本モデル	19
7.2.	ビッグデータシステム利活用を支える基盤・環境	19
7.3.	ビッグデータ分野の新潮流	22
参考文献		25

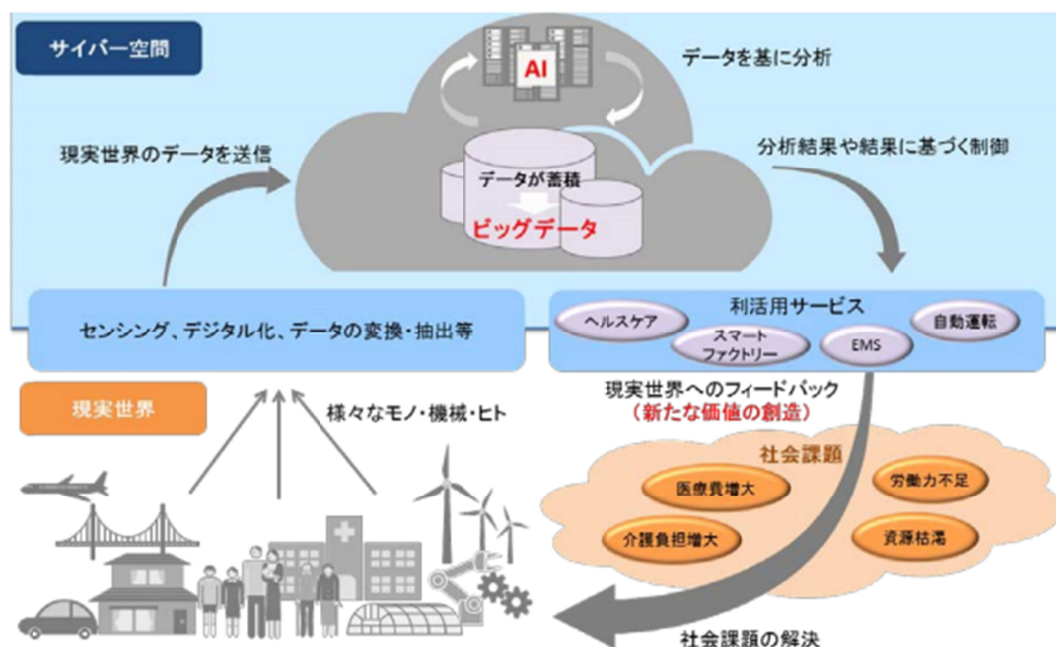
第1章 ビッグデータとは

「ビッグデータ (Big Data)」という用語の起源は 2000 年と言われているが、明確な定義は無い。しかし、ガートナーのアナリストであるダグラス・レイニーはデータマイニングに関する 2001 年の報告書[1]で、今後のデータ処理システムは情報資産 (データ) を処理する量 (Volume) と速度 (Velocity)、および種類 (Variety) という三つの軸 (3V) での増大に対応できる必要があると主張しており、この 3V が一般にビッグデータの特徴とされている。

ビッグデータは、IoT および AI と並ぶ現代のバズワードである。ビッグデータという用語が我が国で使われるようになったのは 2010 年に入ってからである。モバイルデバイスの普及や IoT の急進展によりデータ発生量が爆発的に増加する状況下、その大量の時々刻々発生するデータのビジネスや社会サービスでの活用は、マス対応から個対応へ、また事後対応から予測・予防へと質的变化をもたらしつつあり、我が国でも企業の業務改善や新サービスの創出におけるビッグデータの活用が注目を浴びている。

ビッグデータは、従来の情報システムとは異なるデータソース (モバイルデバイスや IoT 等) からのデータとの結合によるデータフュージョンの発生や高度な分析を可能とする人工知能技術 (AI) の発展により、ビッグデータの活用はますます加速する傾向にある。ビッグデータ、IoT、AI は相互に連携しながら発展をつづけ、データ・ドリブン (駆動型・主導) 社会、ビッグデータ社会 (図 1) へと発展することになる。

図 0 IoT-ビッグデータ-AI によるデータ・ドリブン社会のイメージ



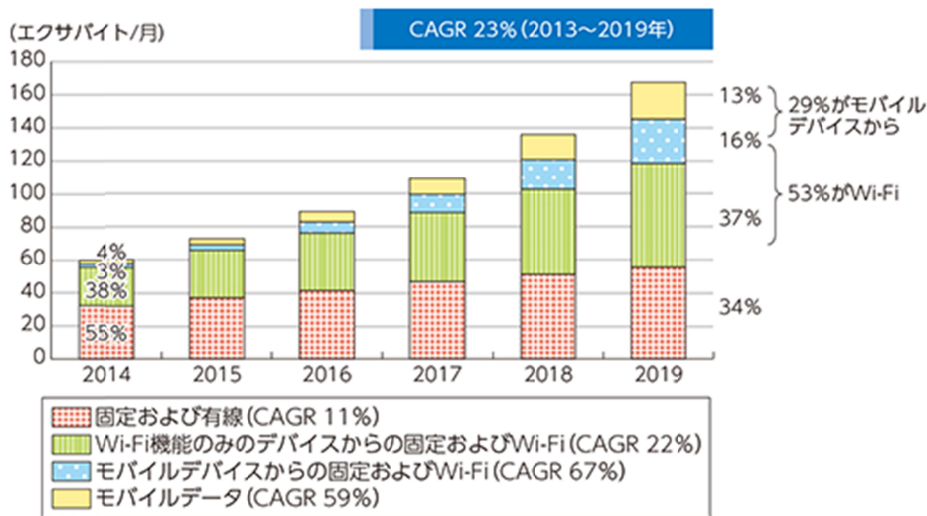
(出典：「IoT 時代における ICT 産業の構造分析と ICT による経済成長への多面的貢献の検証に関する調査研究」 平成 28 年 総務省 [2])

第2章 ビッグデータで取り扱うデータの現状・動向

(1) データの量

モバイルデバイスの普及、IoTの進展は、世界のデータ通信量の大幅な増加をもたらしている。平成28年の「情報通信白書」によると、世界のデータ通信量は毎年23%増であり、特にモバイルデバイスからのデータ通信が大きく伸び、2014年には全体の7%であったのが2019年には29%を占める(図2)と予想され、モバイルデバイスからのデータ通信量の占める割合は4倍以上に達すると予想されている。

図2 世界のデータ通信量の推移および予測



(出典:「情報通信白書」平成28年 総務省[3])

社会インフラを支える情報システムは急増するデータを活用し、新たな価値やサービスを生み出し、社会へ貢献することが期待されている。社会インフラシステムで活用されるビッグデータには、これから本格化するIoTの進展に応じ急増するデータ量への対応が求められる。

(2) データの構造

従来、蓄積され活用されてきたデータは企業の顧客データや売り上げデータ等のテキストや数値が中心の構造化データであったが、現在では画像、映像、音声、テキストを組合せて作成する非構造化データが中心となっている。その原因は、技術の発展により様々なアプリケーション/サービスで多様な形式のデータ、非構造化データが扱えるようになったこと、インターネットの普及(我が国では、6歳以上の人口の83%が利用[4])により国民の様々な活動がインターネット上のアプリケーション/サービス(GoogleやFacebook等)で実施されるようになってきたこと、そして産業界の事業活動や官公庁・自治体の政策立案・住民サービス活動のために必要な情報がインターネット経由で容易に収集可能となり、活用が急進展していること、などが考えられる。

今後はモバイルデバイスの普及やIoTの進展に伴い、GPSデータやRFIDデータ、センサーデータ等の新たな非構造化データが更に急増することが予想される。IoTがサイバーワールドとフ

デジタル世界の接点であり、多くの社会インフラシステムで重要な役割を果たすことになり、IoT が生成する多種・多様な非構造化データを取り扱えるビッグデータ、更には逐次処理・即時処理が可能なビッグデータが求められることになろう。

（３）データの妥当性確認

データ送信者や送信機器を偽った偽のデータの混入や、データ送信者や送信機器の送信したデータが改ざんされていた場合は、ビッグデータの分析・利用を誤った結果に誘導することにもなる。このような意図的に悪意のあるデータの混入を狙ったサイバー攻撃も将来は想定され、データ送信者や機器の確認とデータが途中で改ざんされていないことの確認等が必要となろう。

SNS 情報の集積による社会動向の把握を目的とするビッグデータ応用においては、事実ではない情報（フェイクニュース）への対応が問題となろう。事実ではない情報が混在したビッグデータあるいは逆に情報が過度にフィルタリング（フィルターバブル）されたビッグデータ、共に誤った結果を導出することにもなる。SNS 情報がフェイクニュースでは無いかどうかの適切な判断が必要となろう。

データの妥当性の不十分な確保により生じた被害については、データ提供主体が責任を問われることも想定される。

（４）個人情報を含むデータの取得

モバイルデバイスや IoT デバイスの普及により、従来は困難であった様々のデータ、個人情報を含むデータも収集可能となり、個々人に特化したビッグデータ応用サービスが期待されるが、個人情報を含むデータの取得には、あらかじめ利用目的を特定し本人の同意を得る、あるいは利用目的をあらかじめ公表しておく、あるいは本人へ通知する等、平成 27 年（2015 年）9 月に成立した「個人情報の保護に関する法律及び行政手続における特定の個人を識別するための番号の利用等に関する法律の一部を改正する法律」（改正個人情報保護法[5]）に規定されている義務を順守する必要がある。なお、人種、信条、社会的身分、病歴、前科、犯罪被害情報、その他、政令で定める本人に対する不当な差別、偏見が生じないよう特に配慮する必要がある情報等の要配慮個人情報については、取得時に必ず本人の同意を得る必要がある。

（５）データの正規化・高品質化

収集されるデータの種類や収集方法によっては、データに重複や表現の揺れが存在する場合があります、重複の排除や表現の統一などの正規化によりデータの品質の向上を図る必要がある（データクレンジング）。

また、収集するデータ利用目的が明確であれば、大量の生のデータを高品質化しすぐに利用できるデータ（ディープデータ）へ選別や加工により変換し、効率的な蓄積・管理と分析・利用の効率化を図ることも必要となる。IoT の普及により、短時間に収集される大量のデータの迅速な処理が求められることになろう。

なお、収集データの選別や加工を行う場合は、選別や加工の妥当性についてのエビデンスの必要性の有無など、検討しておく必要がある。

また、選別や加工により廃棄される生のデータが個人情報を含むデータの場合は、復元不可能

な消去による廃棄を実施する必要があると同時に、そのエビデンス保存の要否についても検討しておく必要があろう。

第3章 ビッグデータの構成に関する現状・動向

(1) データの格納・管理

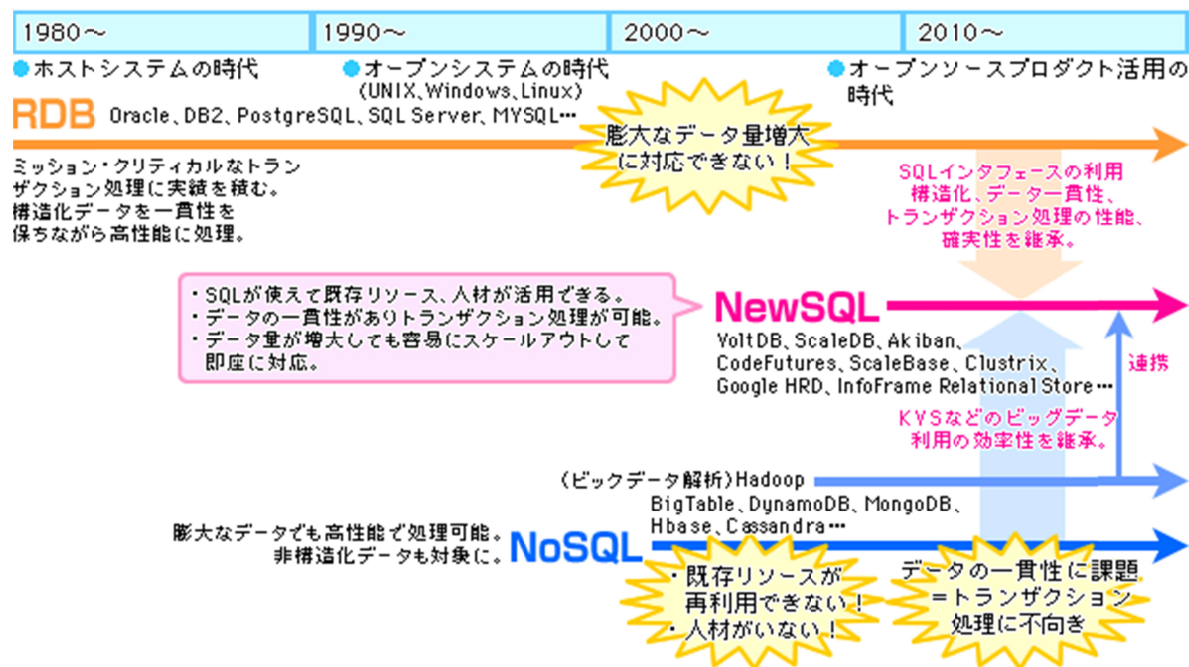
ビッグデータは一般に構造化データ、非構造化データあるいはその混在したデータで構成される。

構造化データの格納・管理には、Oracle、MySQL、Microsoft SQL Server、PostgreSQL 等のリレーショナルデータベース管理システム (RDBMS) が引き続き活用されている。非構造化データの格納・管理には、MongoDB、Cassandra 等の NoSQL データベース管理システムが活用されている。

構造化データ、非構造化データを組み合わせた格納・管理が求められるビッグデータが今後増加することが予想されるが、構造化データ、非構造化データの両方を格納・管理できる VoltDB、ScaleDB 等の NewSQL データベース管理システムがビッグデータ向けの新たなデータベース管理システムとして注目を浴びている (図3)。

ビッグデータでは一般に多様なデータを扱うことが求められるが、個々のビッグデータ応用システムでは格納・管理するデータの構造に応じ、適切なデータベース管理システムの選定が必要である。

図3 データベース管理システム (DBMS) の歴史

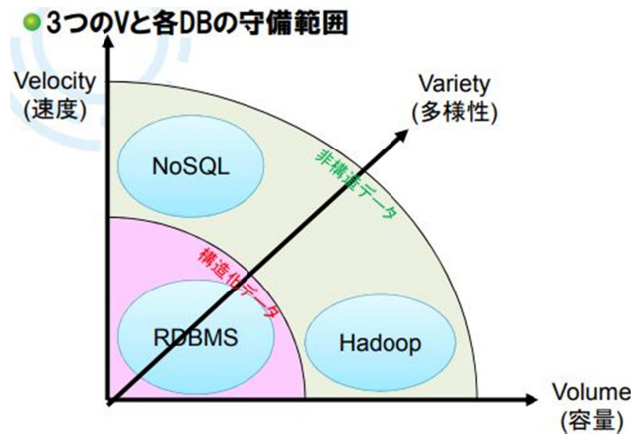


(出典:「NoSQLとRDBを両立する「NewSQL」って何だ?」平成25年 キーマンズネット[6])

ビッグデータでは、大規模な分散処理システム Hadoop が利用されているケースも多い。Hadoop は、Google の MapReduce (並列処理システム)、GFS (データ分散管理システム) をベ

ースに開発された、大量（Volume）の多様（Variety）なデータの処理を目指した並列分散処理基盤である（図4）。

図1 RDBMS、NoSQL、Hadoopの位置付け



(出典：OSS コンソーシアム データベース部会 設立セミナー

「NoSQLの必要性と主要プロダクト比較」平成27年 野村総合研究所[7])

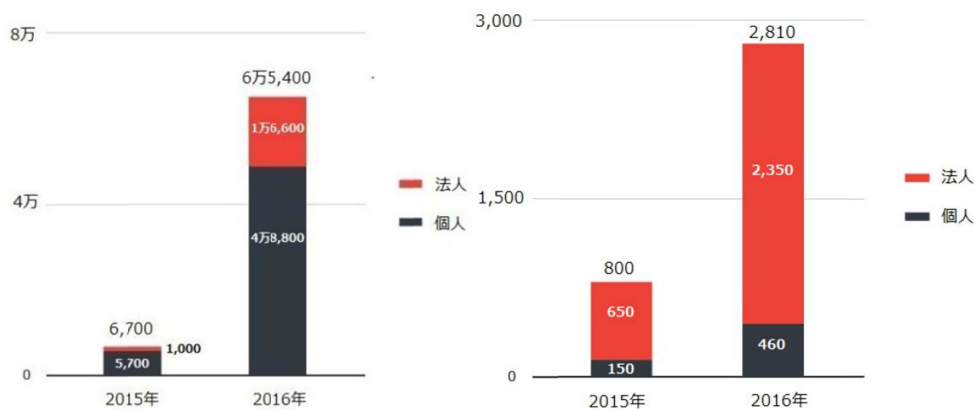
(2) データの維持・保全

ビッグデータの破壊や改ざんは、不正なアクセス、操作ミスやシステムトラブル、サイバー攻撃の被害、などが想定される。不正なアクセスによる破壊や改ざんを防ぐには、アクセス者の厳密な認証（本人確認）と認可（権限確認）の仕組みが不可欠である。しかし、認証・認可の仕組みは往々にして迂回される場合もあり、破壊や改ざんの検知の仕組みや破壊や改ざんを検知した場合に速やかに復旧できるためのバックアップ等の対策も必要であろう。

更新権限を有するアクセス者による操作ミスやシステムトラブルを完全に防ぐことは難しい。操作ミスやシステムトラブルによるビッグデータの破壊や喪失を防ぐには、バックアップ等の対策が必要であろう。

サイバー攻撃に晒されていることにも配慮が必要である。ここ数年、ビッグデータを人質とし身代金を要求するウイルス（ランサムウェア：Ransomware）の被害が多発している。ランサムウェアは、ビッグデータを勝手に暗号化し利用できなくするウイルスであり、暗号化されたビッグデータを復号して欲しければ身代金を払え、と要求するウイルスである。我が国でもランサムウェアのリスクが急拡大中である（図5）。左図は我が国のランサムウェア検出台数であり、右図がランサムウェア被害件数である。

図 5 国内のランサムウェア検出台数推移（左図）およびランサムウェア被害件数推移



注 1：検出台数とは、トレンドマイクロ社の製品で「検出」した PC/サーバ等の「台数」

注 2：被害件数とは、トレンドマイクロ社のコールセンターへの「被害」の相談の「件数」

（出典：「2016 年 年間セキュリティラウンドアップ」 平成 29 年 トrendマイクロ [8]）

今後、ビッグデータが社会インフラシステムの中でますます重要な役割を果たすことになるのは確実で、ビッグデータはランサムウェアによるサイバー攻撃の格好の標的になることになろう。対策としては、ウイルス対策等でランサムウェアへの感染を防ぐのはもちろんだが、万一被害に遭ったとしてもすみやかに復旧できビッグデータの提供を維持できるよう、バックアップ対策は不可欠であろう。

（3）データの漏洩防止

ビッグデータのデータ漏洩は、内部者を含む不正なアクセス、サイバー攻撃の被害などが想定される。

内部者を含む不正なアクセスによる情報漏洩を防ぐには、アクセス者の厳密な認証（本人確認）と認可（権限確認）の仕組みが不可欠である。なお、既述の通り認証・認可の仕組みは往々にして迂回されるリスクも存在するので、次に述べる暗号化の対策も並行し検討する必要がある。

認証・認可に基づくアクセス制御が迂回された場合でも、データそのものが漏洩しないよう、あらかじめ暗号化しておくことは、データの漏洩防止には大変有効である。ところが、暗号化されたデータそのままでの分析は一般には難しく、ビッグデータの利活用を著しく制限することになりかねない。分析の対象とはならず最終結果として抽出するのみのデータであれば、暗号化の利用は可能である。また分析内容によっては、暗号化状態のままでも可能な場合もある。いずれにせよ、ビッグデータにおける暗号化の利用は、ビッグデータの分析において実施される処理内容を把握の上、検討する必要がある。

データの破壊・改ざん対策としてのバックアップの重要性を述べたが、そのバックアップ・データからのデータ漏洩対策も重要である。バックアップ・データの保護には、一般に暗号技術や秘密分散技術が利用されている。

ビッグデータ内の個人情報の漏洩をさける対策として、匿名化も有効である。しかし匿名化されたデータは分析処理を制限することになる。暗号技術と同様、匿名化の利用はビッグデータの分析において実施される処理内容を把握の上、検討する必要がある。

(4) データの廃棄

ビッグデータを構成するデータには、長期間にわたり価値を生むあるいは長期間維持することにより価値が増大するデータも多いが、時間の経過と共に価値が減少するあるいは寿命が存在するデータもある。ビッグデータの効率的な運用・利用においてもデータの廃棄の必要性や廃棄の判断基準など、特に個人データの廃棄の場合は復元不可能な確実な廃棄の方法など、あらかじめ検討しておく必要がある。

(5) データの自己コントロール

個人情報を含むデータの場合には、「改正個人情報保護法」に規定されている義務を順守する必要がある。「改正個人情報保護法」ではデータの自己コントロールについては明記されていないが、本人からの開示・訂正・利用停止等の要求には、「個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン（通則編）」[9]に基づき、対応する必要がある。

第4章 ビッグデータの分析に関する現状・動向

(1) 統計学に基づく分析

以前よりデータ分析に良く使われた手法であるが、ビッグデータの分析手法としてあらためて注目を浴びている。これまでは、大量のデータ（母集団）の入手が困難なため、標本としてのデータを入手し標本特性を分析することで、母集団の特性を推定なり検定してきたが、母集団に近い大量のデータから構成されるビッグデータを利用することにより、より正確な推定・検定や従来は難しかった分析も可能となってきた。具体的な分析手法としては、アソシエーション分析、因子分析、回帰分析、ABC分析、クラスター分析など。いずれも、仮説をたて、それをデータによって検証する、という手順で行う分析手法である。

(2) 人工知能・機械学習・深層学習による分析

「人工知能」(Artificial Intelligence) は、人間の知能を人工的に実現するための研究分野である。1950~60年代にコンピュータによる「探索」や「推論」等が可能となり第1次人工知能ブームが到来した。1980年代には「知識」を与えることで人工知能が実用化可能な水準に達し、多数のエキスパートシステムが構築され第2次人工知能ブームとなった。2000年代からの第3次人工知能ブームは、大量のデータ（ビッグデータ）を用いることで人工知能自身が知識を獲得する「機械学習」(Machine Learning) が実用化された。更に、知識を定義する要素（特徴量）を大量のデータ（ビッグデータ）から人工知能が自ら習得する「深層学習」(Deep Learning) が登場し、研究開発や応用開発が盛んに実施されている。

図2 人工知能、機械学習、深層学習の位置付け



(出典：コレ1枚で分かる「AI、機械学習、ディープラーニングの関係」 平成29年 ITmedia エンタープライズ[10])

(3) セキュア分析

ビッグデータの分析過程でのデータ漏洩にも配慮しておく必要がある。そのためには、分析処

理環境の安全性を高めることが重要である。内外からの不正アクセス、ウイルスへの対策に配慮が必要であろう。

データそのものの漏洩を心配せず分析が可能な技術に暗号化状態処理がある。暗号化されたデータをそのまま使用する分析処理であるが、暗号化状態処理が適用可能な分析内容は限られている。秘匿検索では、公開鍵暗号あるいは共通鍵暗号を利用し、一致、AND 検索、OR 検索、部分一致検索、範囲検索、類似検索、ブーリアン検索などを実現できる技術が提案されている。秘匿計算では、公開鍵暗号の準同型性を利用し、加算や乗算が可能な技術が提案されており、限られた範囲ではあるが統計処理などに利用できる。秘匿暗号化（再暗号化）は、暗号化状態処理で得た暗号化された結果を利用者（分析者）が所有する秘密鍵でのみ復号可能な暗号化された結果へ変換し利用者（分析者）へ提供することにより、ビッグデータシステム運用者へのデータ漏洩を防ぐことができる。

（４） 分析結果の納得性

分析者は適切なビッグデータ、分析システムを利用し分析、その分析により得られた結果を評価・解釈し利用者へ結論なりアドバイスなりを提供することになる。利用者へ結論なりアドバイスなりを提供するにあたり、分析者は結果を納得できる必要があり、そのような結果に至った理由や根拠を確認できる必要があろう。

人工知能・機械学習・深層学習による分析の場合は、導出された結果に至った理由や根拠の確認が一般には難しく、分析者が専門家として説明責任を問われるような分野での実用化を阻んでいるのが現状である。人工知能・機械学習・深層学習が導き出す推論結果の理由や根拠を示す技術の開発が期待されている。

（５） 分析結果の利用に関する責任の所在

分析者が提供した結論なりアドバイスの不適切さにより利用者が被害を受けた場合の責任の所在については、データ提供主体、ビッグデータ管理主体、分析システム提供主体、分析者、利用者等の関与する主体間での責任の所在をあらかじめ明確にしておく必要があろう。

第5章 個人情報を含むビッグデータの第三者提供

(1) 実名のままの提供

「改正個人情報保護法」では、個人データの第三者提供には、あらかじめ本人の同意を得る、あるいはオプトアウト手続（本人の求めに応じて当該本人が識別される個人データの第三者への提供を停止することとしている場合であって、第三者提供を利用目的とすることや、第三者へ提供される個人データの項目、提供方法について、あらかじめ、本人に通知し、または本人が容易に知り得る状態に置くとともに、個人情報保護委員会に届け出たときは、本人の同意なしに当該個人データを第三者に提供することができる手続き）を整備しておくこと等が規定されており、「個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン（通則編）」[9]に基づき、検討する必要がある。なお、要配慮個人情報の第三者提供の場合は、あらかじめ本人の同意が必要であり、オプトアウト手続による第三者提供は認められていない。

(2) 匿名化しての提供

個人データを特定の個人を識別できないように加工したデータ（匿名加工情報）については、「改正個人情報保護法」においても、個人情報取扱事業者は本人の同意を得ることなく、特定された利用目的外での利用や第三者（匿名加工情報取扱事業者）への提供が可能である。個人データを取り扱うビッグデータ管理主体は個人情報取扱事業者として、匿名加工情報取扱事業者である2次ビッグデータ管理主体へ、「改正個人情報保護法」に規定されているルールに従い匿名加工を施したデータを提供できる。匿名加工情報の定義や匿名加工手法（例）については、「個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン（匿名加工情報編）」[11]に規定されている。

匿名加工情報の提供を受けた2次ビッグデータ管理主体は、匿名加工情報取扱事業者として、元の個人情報に対応する本人を識別する目的で、加工方法等の情報を取得したり他の情報と照合することは禁止されている。また、匿名加工情報と言えども再識別のリスクは残存するため、安全な管理が求められている。匿名加工情報取扱事業者の義務についても、「個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン（匿名加工情報編）」[11]に規定されている。

図 3 匿名加工情報の加工に係る手法例

手法名	解説
項目削除／レコード削除／セル削除	加工対象となる個人情報データベース等に含まれる個人情報の記述等を削除するもの。 例えば、年齢のデータを全ての個人情報から削除すること（項目削除）、特定の個人の情報を全て削除すること（レコード削除）、又は特定の個人の年齢のデータを削除すること（セル削除）。
一般化	加工対象となる情報に含まれる記述等について、上位概念若しくは数値に置き換えること又は数値を四捨五入などして丸めることとするもの。 例えば、購買履歴のデータで「きゅうり」を「野菜」に置き換えること。
トップ（ボトム）コーディング	加工対象となる個人情報データベース等に含まれる数値に対して、特に大きい又は小さい数値をまとめることとするもの。 例えば、年齢に関するデータで、80歳以上の数値データを「80歳以上」というデータにまとめること。
マイクロアグリゲーション	加工対象となる個人情報データベース等を構成する個人情報をグループ化した後、グループの代表的な記述等に置き換えることとするもの。
データ交換（スワップ）	加工対象となる個人情報データベース等を構成する個人情報相互に含まれる記述等を（確率的に）入れ替えることとするもの。
ノイズ（誤差）付加	一定の分布に従った乱数的な数値を付加することにより、他の任意の数値へと置き換えることとするもの。
疑似データ生成	人工的な合成データを作成し、これを加工対象となる個人情報データベース等に含ませることとするもの。

（出典：「個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン（匿名加工情報編）」平成 28 年 個人情報保護委員会[11]）

第6章 ビッグデータの利活用状況

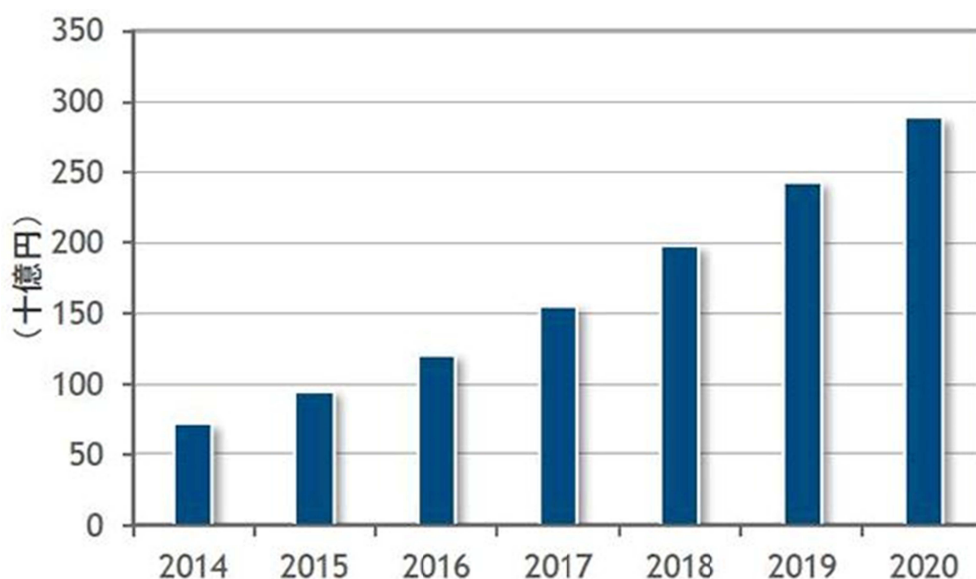
6.1. ビッグデータに関する市場予測

IDCによると、ビッグデータテクノロジー/サービス（BDA:Big Data Analytics）市場は2016年に過去最高の1300億ドル（約13兆円）となる見通しであり、2020年までに2030億ドル（約20兆円）に達し、年平均で11.7%の2桁成長が続くと予想している[12]。その要因として、「IoTなどあらゆるものからデータ取得できる環境整備」、「データを処理する技術の革新」、「データドリブン（データを根拠とした）な意思決定などの動き」を挙げている[25]。

IDC Japanによると、日本も2015年ビッグデータテクノロジー/サービス市場規模は947億7,600万円、前年比32.3%増の高成長となっており、今後も新たなビジネスの基盤として活用が広がり、2020年までに市場規模は年間平均成長率25.0%で拡大した結果、2,889億円に達すると予測している（図8）。

なお、IDC/IDC Japanによるビッグデータテクノロジー/サービス（BDA:Big Data Analytics）市場規模の調査は、ビッグデータの構築・運用・分析のためのソフトウェア製品群やハードウェア製品群、およびビッグデータに関連するビジネスサービス・ITサービス等のサービス製品群を対象に実施されている。

図4 日本のビッグデータテクノロジー/サービス市場規模



(出典：「IDC 調査：世界ビッグデータ市場」 平成 28 年 IDC Japan[12])

6.2. 米国

(1) 活用状況・動向

ビッグデータに関する市場は、IDCによると2020年には米国企業が世界の半分を占めると予測されている[12]。米国でのビッグデータの活用は、通信・メディア、医療、交通分野を中心に、広い分野で伸びている模様。2016年のJETROの報告書[13]によると、ビッグデータへ投資する

企業数は通信・メディア分野が最も多く、既に 53%の企業がビッグデータへ投資を行っており、続いて医療（50%）、教育（44%）、保険（42%）、公共インフラ（40%）などで多くの企業がビッグデータへ投資している。前年から投資企業が大きく増加しているのは、医療、交通、公共インフラ分野で、これらの分野はセンサー等の IoT を多く利用するためデータを集めやすく、集めたデータをビッグデータの活用へとつなげやすいため、と考えられる。

（２） 関連政策

米国政府は 2014 年 5 月にビッグデータとプライバシー政策の見直しを行った報告書 [14]をまとめている。ビッグデータの利点を最大限に生かしつつ、いかにリスクを最小化させるかという観点からまとめられたものである。以下の項目が今後取組みを進める必要がある課題として提示されている。

- 1) プライバシー価値の保護：市場における個人情報を保護することでプライバシーの価値を維持する。
- 2) 確実で責任のある教育：高校以下を中心として、学校はビッグデータを活用することで学習機会を高めることができることを認識する。同時に個人情報を保護し、デジタルリテラシーやスキルを向上させる。
- 3) ビッグデータと差別：ビッグデータの使用によって生み出されるかもしれない新しいタイプの差別を防ぐ。
- 4) 法の執行とセキュリティ：法の執行、社会の安全、国家安全保障を進める中で、ビッグデータの責任ある使用を確実にする。
- 5) 公的資源としてのデータ：データを公的資源として活用し、公的サービスの向上のために使用し、ビッグデータ革命を促進させる研究開発に投資を行う。

なお、この報告書と同時に、ビッグデータ政策の見直しを技術的な観点からまとめた「BIG DATA AND PRIVACY : A TECHNOLOGICAL PERSPECTIVE」 [15]が発表されている。

2012 年には、ビッグデータの研究開発と活用を促進するための施策「Big Data Research and Development Initiative」 [16]が発表されている。更に、2016 年に戦略計画「The Federal Big Data Research and Development Strategic Plan」 [17]が発表されており、本戦略計画では 7 つの重点分野・テーマについて記載されている。

- 1) ビッグデータ基盤、技能、技術の開発による次世代能力の創造
- 2) データの信頼性の探求、よりよい意思決定、大きな発見を可能とする研究開発の支援
- 3) ビッグデータイノベーションを可能とする研究サイバーインフラの構築と強化
- 4) プライバシー、セキュリティ、およびビッグデータの収集・共有・利活用の倫理的側面の理解
- 5) データ共有・管理を促進する政策を通じたデータ価値の向上
- 6) 国のビッグデータ教育とトレーニング状況を改善し、増加する分析人材需要と幅広い人員の充足
- 7) 政府機関、大学、企業、非営利組織との協力体制による、活力あるビッグデータイノベーション・エコシステムの支援

6.3. EU

(1) 活用状況・動向

IDCの2016年の報告書「European Data Market」[18]によると、2013年のEUのデータ市場規模は約47.4Bユーロ、2014年には約50.9Bユーロ、2015年には約54.5Bユーロ、伸びは7.0%~7.3%と推定されている。また、EUのICT企業全体の総利益に対するデータ企業の総利益の割合は、2013年の3.0%、2014年には3.2%、2015年には3.4%、伸びは7.2%~7.4%と推定されている。

2015年には、Big Data Europeプロジェクト[19]がスタートした。ビッグデータを構築するプラットフォーム（Big Data Europe Integrator Platform）をオープンソースで整備しつつ、7つの分野（Health, Food&Agriculture, Energy, Transport, Climate, SocialSciences, Security）でのパイロットプロジェクトが進行中である。

(2) 関連政策

2010年欧州委員会が発表した、「リスボン戦略」に次ぐEUの新しい中期成長戦略Europe2020[20]では、「スマートな成長」、「持続可能な成長」、「包括的成長」の三つの成長を掲げ、七つのフラッグシップイニシアティブ「イノベーション・ユニオン」、「若者の教育・活用」、「デジタル・アジェンダ」、「資源の有効活用」、「グローバル時代の産業政策」、「新たな技術と雇用に関するアジェンダ」、「貧困対策プラットフォーム」が設定されている。

2014年に開始された「Horizon2020」[21]は、Europe2020のイニシアティブの内、「イノベーション・ユニオン」を推進する枠組であり、「デジタル・アジェンダ」に含まれるビッグデータをはじめとするICT関連の研究推進活動も含まれている。研究の成果を、イノベーション、経済成長、雇用等に繋げることを目的としている。

2014年には、欧州委員会はビッグデータに対する新たな戦略「Towards a thriving data-driven economy」[22]を発表、「将来の知識経済・知識社会の中核はデータ」という認識のもと、データ・ドリブンEUエコノミーの将来の姿を示し、実現のためのアクション・プランを示している。具体的アクションは、Horizon2020の枠組の中で実施されている。また、2017年には「Building a European Data Economy」[23]を発表、「データの自由な流通」、「機器生成データのアクセス許容性推進」、「データのポータビリティ、相互運用性、標準化」、「IoTや自律的システムのデータの責任」などの検討が提案されている。

1995年に公表されたデータ保護指令は、2016年に欧州委員会で採択され、2018年に施行予定の「GDPR: General Data Protection Regulation」[24]に置き換えられ、EUにおける個人情報・プライバシーに関するデータ処理・管理の新たな枠組みが運用されることになる。GDPRでは、個人のためのデータ保護が強化され、本社がEU域外の場合も適用対象となっており、多くの日本企業も対象になるものと考えられる。

6.4. 日本

(1) 活用状況・動向

日本のビッグデータの活用は、米国に比べかなり遅れをとっているのは否めないが、IDCによると日本のビッグデータに関する市場は拡大を続け、2015年には950億円程度が2020年には

2900 億円に達し、世界市場の 1.5%に達すると予測されている[25]。

ビッグデータの活用を支えるオープンデータの取り組みは、日本では平成 24 年 7 月発表の「電子行政オープンデータ戦略」[26]に“積極的な公共データの公開”、“機械判読可能な形式での公開”、“営利目的も含めた活用の促進”などが盛り込まれ、始まった。翌年には、政府のデータカタログサイト（www.data.go.jp）が開設された。更に、平成 28 年には、「世界最先端 IT 国家創造宣言」[27]の改訂と合わせ「[オープンデータ 2.0] 官民一体となったデータ流通の促進」[28]を発表、オープンデータの更なる深化を目指し 2020 年までを集中取組期間としている。現在、約 20 万のデータセットが登録されているが、平成 29 年に実施されたパブコメによると、登録すべきデータ項目やファイル形式等について多くの要望が寄せられており、オープンデータの充実および利便性の高い形式での提供が期待される。

平成 25 年 5 月に「行政手続における特定の個人を識別するための番号の利用等に関する法律」（マイナンバー法）[29]が成立した。平成 27 年 10 月よりマイナンバー通知が始まり、平成 28 年 1 月よりマイナンバーカードの交付およびマイナンバーの利用が始まった。現在は社会保障分野、税分野、災害対策分野での利用のみであるが、民間サービスにおける利用も今後推進される予定で、マイナンバーと連結可能なデータにより構成されるビッグデータの利活用の進展が期待される。なお、マイナンバーそのものを含むデータは単なる「個人情報」ではなく「特定個人情報」であり、「改正個人情報保護法」[5]では「個人情報」は本人が同意すれば第三者へ提供できるが、マイナンバーを含む「特定個人情報」は本人が同意しても第三者への提供はできないことに注意を要する。

（2）関連政策

「日本再興戦略 2016」（平成 28 年 6 月閣議決定）[30]では、

“今後の生産性革命を主導する最大の鍵は、IoT（Internet of Things）、ビッグデータ、人工知能、ロボット・センサーの技術的ブレークスルーを活用する「第 4 次産業革命」である”

とし、名目 GDP600 兆円に向けた「官民戦略プロジェクト 10」の一つとして、新たな有望成長市場の創出のための「第 4 次産業革命（IoT・ビッグデータ・人工知能）」の推進を掲げ、2020 年までに 30 兆円の付加価値創出を目指している。

Society 5.0 の実現に向けては官民データの活用が鍵であるとの認識の下、「官民データ活用推進基本法」（平成 28 年法律第 103 号）[31]に基づき平成 29 年 5 月に閣議決定された「世界最先端 IT 国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画」[32]では、「官民データ利活用社会」～データがヒトを豊かにする社会～モデルを世界に先駆けて構築を目指し、「我が国の置かれた諸状況を踏まえたデータ利活用による新たなライフスタイルの提案」、「官民データの利活用に向けた環境整備」等の施策を掲げている。平成 29 年 6 月に閣議決定された「未来投資戦略 2017」[33]においても、Society 5.0 に向けた課題の一つとして、「データ利活用基盤の構築、徹底したデータ利活用に向けた制度整備」を掲げている。

「第 5 期科学技術基本計画」（平成 28 年 1 月閣議決定）[34]においては、

“超スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要となる基盤技術、すなわちサイバー空間における情報の流通・処理・蓄積に関する技術は、我が国が世界に先駆けて超ス

マート社会を形成し、ビッグデータ等から付加価値を生み出していく上で不可欠な技術である”

とし、非構造データを含む多種多様で大規模なデータから知識・価値を導出する「ビッグデータ解析技術」の強化を図る、としている。

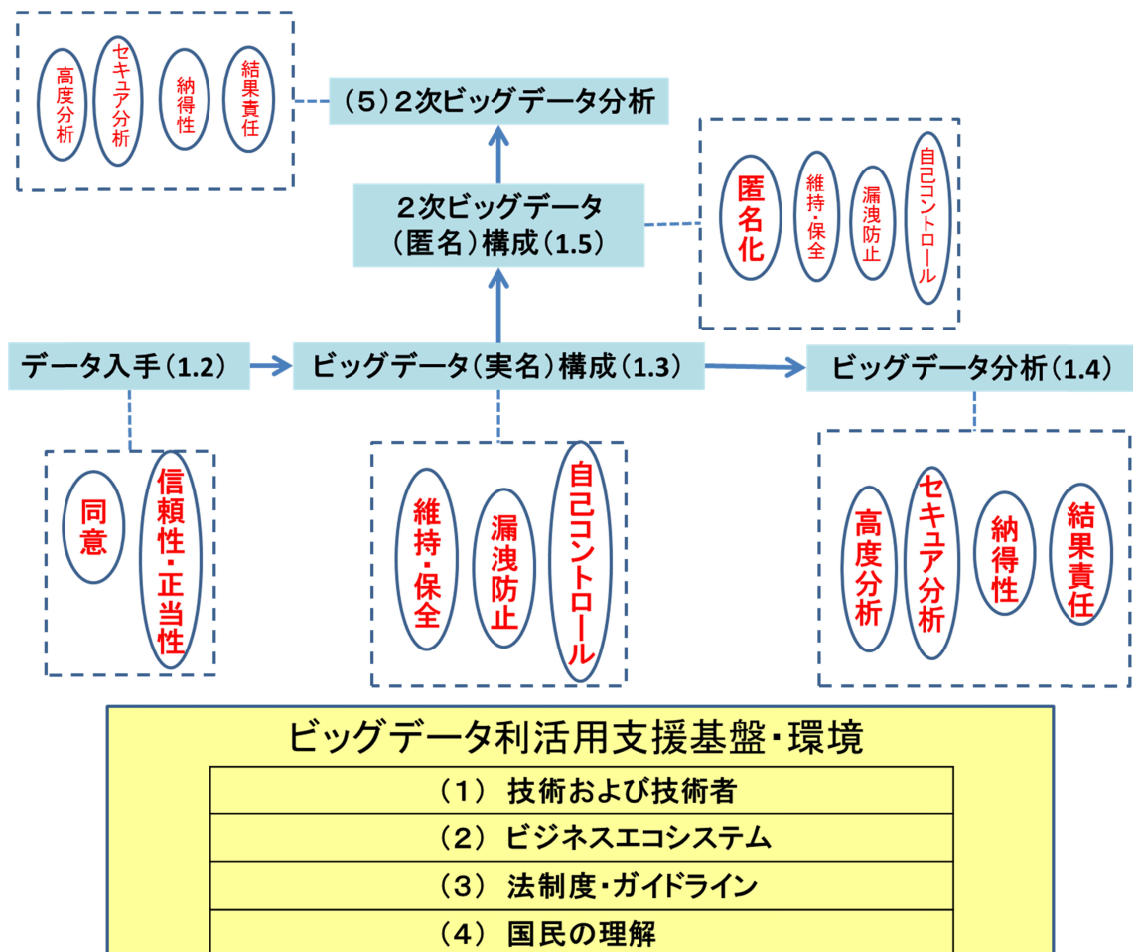
「科学技術イノベーション総合戦略」は科学技術基本計画に定めた中長期的な方向性の下、同計画策定後の新たな取組や変化にも留意しつつ、各年度に重きを置くべき取組等を示すものであり、「科学技術イノベーション総合戦略 2017」（平成 29 年 6 月閣議決定）[35]では、新たな経済社会である Society 5.0 を実現していくためには、新たな価値創出を容易とするプラットフォームを構築することが重要とし、取り組む必要がある施策として「新たな価値やサービスの創出の基となるデータベースの構築と利活用」、「プラットフォームを支える基盤技術の強化」などを掲げ、“特に、AI 技術、IoT システム構築技術、ビッグデータ解析技術等のいわゆる AI 関連技術は Society 5.0 を実現する鍵であり、世界の先を見据えた水準に昇華させ、更に社会実装を迅速に推進することが肝要である”としている。

第7章ビッグデータ利活用推進上の課題・留意点

7.1. ビッグデータシステム利活用基本モデル

(実名) ビッグデータや (匿名) ビッグデータから構成されるビッグデータシステムと、ビッグデータ利活用を支える基盤・環境から構成されるビッグデータ利活用基本モデルへ、1.2～1.5にて記載したビッグデータシステム運用フェーズごとの課題を配置したのが下図である。ビッグデータの利活用を企画・推進する際は、全体の枠組と想定される課題を認識の上、検討を進める必要がある。

図 5 ビッグデータ利活用基本モデルと想定される主要な課題



7.2. ビッグデータシステム利活用を支える基盤・環境

(1) 技術および技術者

平成 29 年 4 月に発行された研究開発の俯瞰報告書(国立研究開発法人 科学技術振興機構)[36]によると、

- 1) 一般にシステム・情報科学技術分野の基礎研究においては米国には及ばないが、ビッグデータや AI における独自の機械学習アルゴリズム等においては日本に強みがある。しかし、我が国は新たな技術を活かした新規事業の創出が不活発。

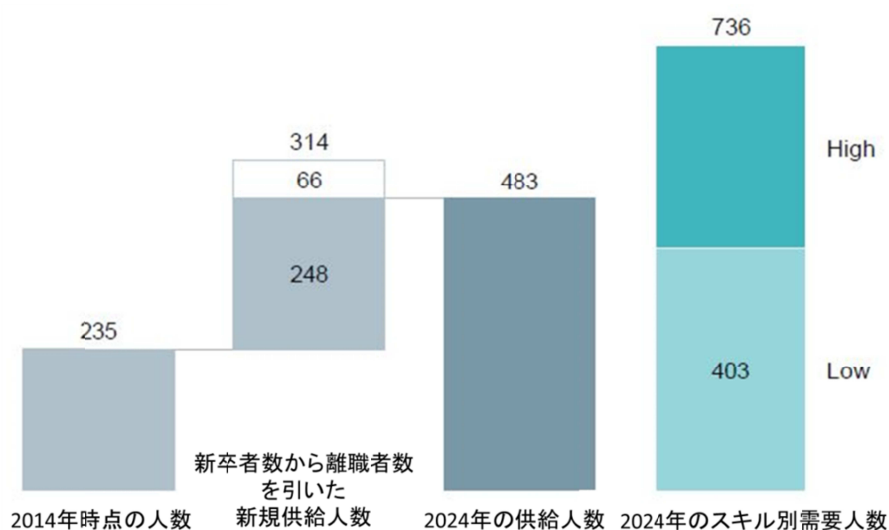
2) ビッグデータの蓄積・利用については官民ともに米国から水をあけられているとされている。

日本では、AI 分野に限らず、実用的なビッグデータ解析技術、ビッグデータ向けセキュリティ技術等、ビッグデータ関連技術の研究開発に注力する必要がある。

ビッグデータを分析し活用できる技術者（データサイエンティスト）の不足も深刻である。

米マッキンゼーが 2016 年に公表した「The age of Analytics : Competing in a Data-Driven World」[37]によると、米国では 2024 年には 73 万 6 千人のデータサイエンティストの需要、供給は 48 万 3 千人、結果として 25 万 3 千人が不足すると見込まれている。

図 6 米国でのデータサイエンティストの需要と供給の見込み（単位：千人）



(出典：「The age of Analytics : Competing in a Data-Driven World」2016 年 McKinsey&Company)

一方、2012 年のガートナーの報告によると、日本では当時「データサイエンティスト」と呼ばれる人材は千人程度しかいないといわれ、将来的には 25 万人が不足する、としている。データサイエンティストの不足は特に我が国は深刻であり、日本学術会議も「ビッグデータ時代に対応する人材の育成」(平成 26 年) [38]にて、「データサイエンティストの育成が特に重要であること」、「データサイエンティストの育成は、既に海外では急速に進められており、我が国においても直ちに着手しなければ、学術研究や産業界におけるビッグデータ活用において大きく立ち遅れる恐れがあること」を提言している。

日本では 2017 年 4 月に滋賀大学が初めてデータサイエンス学部を設立した。データサイエンスが学べる学部、学科、コースは、来年度開設予定も含め、10 数大学であり、日本のデータサイエンティスト育成体制の整備・強化が望まれる。

(2) ビッグデータエコシステム

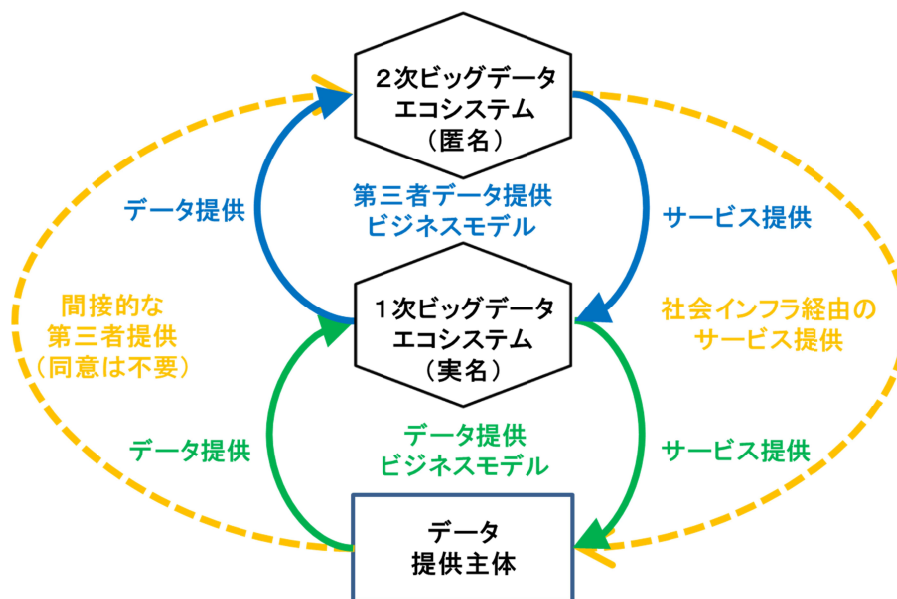
ビッグデータは、継続運用されることにより情報も分析ノウハウも蓄積され、益々効果を発揮し発展するものである。ビッグデータの長期的維持は、関わるそれぞれの主体が役割を維持し続

けたいというインセンティブを持てるかどうか、ビッグデータエコシステムを構成できるか否かにかかっている。

ビッグデータ利活用基本モデルを対象にしたビッグデータエコシステム例を示したのが下図である。この基本モデルが持続的に運用されるためには、データ提供主体が個人情報やプライバシー情報を含むデータの提供に値する魅力あるサービスを受けることができる必要がある、それぞれのビッグデータエコ（サブ）システムが機能すると共に、第三者データ提供ビジネスモデルが機能する必要がある。

社会インフラサービスへのビッグデータ適用においては、ビッグデータエコシステムの形成に配慮する必要がある。

図 7 ビッグデータ利活用基本モデルに対応したビッグデータエコシステム



(3) 法制度・ガイドライン

個人情報・要配慮個人情報の取扱いに関する基本的な法令（改正個人情報保護法[5]）は整備されているが、ビッグデータ利活用の進展に応じ、分野ごとのニーズに応じたきめ細かな法令やガイドラインのタイムリーな整備が必要であろう。企業は、特に日本企業は万が一でもコンプライアンス違反にならないことが明確でない限り、個人情報・要配慮個人情報を活用した意欲的なビッグデータサービスの創出には慎重である。

データを集積したビッグデータの利活用は競争を促進しイノベーションをもたらすことが期待されるが、一方では、データが大きな価値を持つようになりデータの独占や寡占が企業の競争を制限することにもなりかねないことが懸念されている。このような懸念は、2016年10月にOECDより発表された「Big Data : Bringing Competition Policy to the Digital Era」[39]でも報告されている。日本では、平成29年6月に発表された公正取引委員会の「データと競争政策に関する検討会報告書」[40]において、優越的地位を利用した不当なデータ収集や独占・寡占等による不当なデータの囲い込み等に対しては、独占禁止法による対応が必要とし、法整備が進められる予定である。競争環境を維持しつつビッグデータの健全な集積を促進する法制度・ガイドラインの整

備が望まれる。

日本の産業活動のグローバル化の進展により国境を越えたデータの流通・利活用の必要性が増大する中、個人情報、プライバシー情報の取扱いに関する規制が各国で異なり、国境を越えたデータ利活用には多くの課題が存在する。各国との協議を早期に進め、日本企業が不安なくグローバルな活動を展開できるデータ流通・利活用環境の整備が必要であろう。EUは2018年に施行予定の「GDPR」[24]のもと、個人情報の域外持出は欧州委員会が認定した国と地域を除き原則禁止されることになる。現在、日本とEUの政府間協議が進められており、2018年にもまとまりEU域内に子会社や現地法人を持つ日本企業は、日EU間の情報のやり取りが原則自由になる見通しである。米国には包括的に個人情報を保護する法律は無い。自主規制を基本とし、規制する必要がある分野ごと個別法で規制している。なお、米国でも包括的な情報保護の法律を制定する動きもあり、平成24年に草案が、平成27年には法案「Consumer Privacy Bill of Rights (CPBR)」の原案が公開された。しかし、政権交代後、ホワイトハウスのサイトから削除され、本法案の見通しは不透明であるが、今後も注視する必要がある。

(4) 国民の理解

社会インフラサービスにおけるビッグデータの利活用が急伸することは間違いない。集められるデータに個人情報が含まれることも増加するものと思われる。

ビッグデータの利活用を企画・推進する際には、「改正個人情報保護法」[5]を順守した上で、万全のセキュリティ対策を施すと共に、国民の理解を得る活動も必要である。

具体的には、個人が受ける様々の社会インフラサービスがビッグデータ利活用に移行している状況であること、ビッグデータ利活用が一人一人の情報により支えられていること、個人情報の安全性については万全を期していることなどの周知・啓蒙により、社会を構成する国民の一人として社会の健全な運営に資する情報の提供に理解を求める施策・活動が重要であろう。

7.3. ビッグデータ分野の新潮流

(1) 集めないビッグデータ

ビッグデータはビッグデータシステム運用主体の管理下で一元的に格納・利用されるのが一般的である。このような形態は、ビッグデータシステムで提供する多様な分析処理の効率的な実行を可能とするが、個人情報の自己コントロールは困難となり、また個人情報の大量の漏洩や人質事件を誘発することにもなりかねない。そこで、「集めないビッグデータ」[41]方式が注目を浴びている。

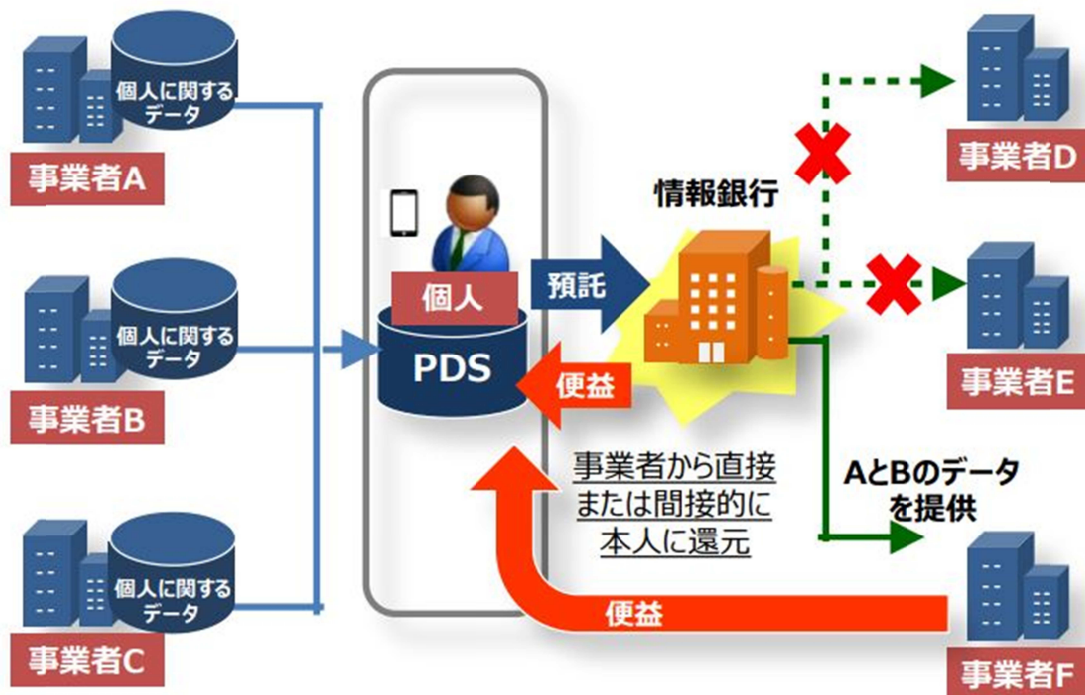
「集めないビッグデータ」の基本は、個人のデータは個人の管理下に置くことである。個人のデータを収集したい事業者は本人の同意を得て直接取得するようにすることにより、個人のデータの第三者提供を不要とし、本人による個人のデータ管理を容易にする。本人の管理下にある個人のデータは「PDS (Personal Data Store)」に格納され、本人の承認のもと、事業者へ提供なり共有されることになる。個人のデータを提供した事業者の情報を本人が管理することになり、「VRM (Vendor Relationship Management)」の機能が必要となる。なお、「PDS」、「VRM」共に、日本でもサービスを提供する事業者が現れている。

一方、個人が管理するPDSに格納されているデータの有効活用を促進するために、個人との契

約に基づき預けられた個人のデータを管理するとともに、個人に代わり妥当性を判断の上、他の事業者へデータを提供し、個人に代わり妥当性を判断の上、他の事業者へデータを提供する事業を行う「情報銀行」も提案されている。「情報銀行」は、データを預けた個人の意向に沿ってデータを運用し、何等かの形でデータを預けた個人に便宜や利益が還元されるビジネスモデルを想定している。日本でも、「情報銀行」の実証実験が始まっている。

今後、「集めないビッグデータ」に関する技術開発、システム開発が活発に行われることが期待される。また、「実証実験」等を通じ、国民の理解を得、ビジネスモデルとしての可能性が検証されることにより、ビッグデータの新たな具現化方式として社会インフラシステムでの活用が進むことを期待したい。

図 8 情報銀行のイメージ



(出典：「AI、IoT 時代におけるデータ活用ワーキンググループ 中間とりまとめ」
2017年3月 データ流通環境整備検討会) [42]

(2) ブロックチェーン

「ブロックチェーン」は、ビットコインをはじめとした仮想通貨に組み込まれた技術であるが、最近では金融取引や著作権管理など様々の分野で活用が展開され、その活用可能性は「インターネット」に匹敵すると言われている技術である。

「ブロックチェーン」は、過去の記録を改ざんできない記録技術である。一つ一つの記録はトランザクションと呼ばれ、複数のトランザクションから構成されるブロックの連鎖が「ブロックチェーン」である。ブロックやブロックに取り込まれたトランザクションの改ざんは難しい仕組みであるため、過去の記録の変更は難しい。また、「ブロックチェーン」はデータの保全に優れた技術である。「ブロックチェーン」のデータは複数の参加主体が重複保有するため、データを失うリスクは極めて低い。記録を利用した処理の継続性に優れた技術である。

なお、仮想通貨に組み込まれている「ブロックチェーン」は、中央管理組織が無いことを一つ

の特徴とし、PoW (Proof of Work) 等の仕組みにより仮想通貨コミュニティの参加者のみによる支払データ (記録) の確実な検証・承認を可能としている。ところが、PoW は多くの参加者に膨大な計算を要求するため、仮想通貨システムの CO2 排出量が大きな問題となってきた。ビットコインに限っても、利用者も取引量も急増した現在、ビットコインの 1 件の取引データの処理 (検証・承認) のために米国の一般家庭 9 軒が毎日消費するエネルギー量と同等が消費されており、ビットコインの急増傾向が続くと 2019 年 7 月には、ビットコインシステムが消費するエネルギー量は現時点の米国全体を上回り、2020 年 2 月には現在の全世界のエネルギー消費量を上回ると予測されている [43]。仮想通貨の世界でも、この CO2 排出量問題の克服が喫緊の課題であるが、社会インフラシステムにおいては、CO2 排出量の問題を発生させない形の「ブロックチェーン」の活用を検討する必要がある。

このような特徴を持つ「ブロックチェーン」のビッグデータでの活用を目指し、新たな技術開発が展開されている。

注目されている技術の一つが、2016 年 2 月に発表された「BigchainDB」 [44] である。

「BigchainDB」は大量のデータを扱える分散型データベースに「ブロックチェーン」の特徴的機能の実装を目指している。「BigchainDB」は開発途上ではあるが、既に多くのプロジェクトでプロトタイプ開発に利用されている。「BigchainDB」の開発を進めている BigchainDB GmbH は多くのパートナー企業に支えられており、日本企業のトヨタ、リクルートもパートナー企業となっている。なお、マサチューセッツ工科大学とトヨタとの自動運転車の分散型データ共有に関するプロジェクトも発表されている。

もう一つの注目されている技術が、エストニアの Guardtime の KSI (Keyless Signature Infrastructure) [45] というブロックチェーン・セキュリティ技術である。Guardtime は KSI と Oracle のデータベースエンジンと組み合わせ、エストニアの 100 万人の医療情報を「ブロックチェーン」で保護するサービスを開発中だ。

今後、ビッグデータと「ブロックチェーン」の連携に関する技術開発が活発に行われることが期待されており、「ブロックチェーン」との連携技術が社会インフラシステムでのビッグデータ活用を更に大きく発展させることが期待されている。

参考文献

- [1] Douglas Laney, “3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity, and Variety,” <http://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf>, (2001)
- [2] 総務省, “IoT 時代における ICT 産業の構造分析と ICT による経済成長への多面的貢献の検証に関する調査研究報告書”, http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/h28_01_houkoku.pdf, (2016)
- [3] 総務省, “平成 28 年度版 情報通信白書”, 第 1 部・第 1 節 IoT がもたらす ICT 産業構造の変化, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nc121200.html>, (2016)
- [4] 総務省, “平成 28 年度版 情報通信白書”, 第 2 部・第 2 節 ICT サービスの利用動向, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nc252110.html>, (2016)
- [5] “改正個人情報保護法”, https://www.ppc.go.jp/files/pdf/290530_personal_law.pdf, (2019)
- [6] キーマンズネット, “NoSQL と RDB を両立する「NewSQL」って何だ?”, <http://www.keyman.or.jp/at/30005304/>, (2013)
- [7] 渡部 徹太郎, “NoSQL の必要性と主要プロダクト比較”, OSS コンソーシアム データベース部会 設立セミナー, http://openstandia.jp/event/pdf/20150828oss_con_report.pdf?osscon0828, (2015)
- [8] トレンドマイクロ, “2016 年 年間セキュリティラウンドアップ”, https://www.trendmicro.com/ja_jp/security-intelligence/research-reports/sr/sr-2016annual.html, (2017)
- [9] 個人情報保護委員会, “個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン (通則編)”, <https://www.ppc.go.jp/files/pdf/guidelines01.pdf>, (2017)
- [10] ITmedia エンタープライズ, “コレ 1 枚で分かる「AI、機械学習、ディープラーニングの関係」”, <http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1709/29/news022.html>, (2017)
- [11] 個人情報保護委員会, “個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン (匿名加工情報編)”, <https://www.ppc.go.jp/files/pdf/guidelines04.pdf>, (2017)
- [12] IDC Japan, “IDC 調査 : 世界ビッグデータ市場”, https://www.principle-c.com/column/global-marketing/idc-bigdata/#_1955641094.1508129650, (2016)
- [13] 八山 幸司, “米国の IT ビジネスにおけるデータをめぐる取り組みの現状”, ニューヨーク便り JETRO/IPA, https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/02/93f3f4e1d1acc556/rp_NYnews201603.pdf, (2016)
- [14] Executive Office of the President, “BIG DATA : SEIZING OPPORTUNITIES, PRESERVING VALUES”, https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/docs/big_data_privacy_report_may_1_2014.pdf, (2014)

- [15] Executive Office of the President, “BIG DATA AND PRIVACY : A TECHNOLOGICAL PERSPECTIVE”,
https://bigdatawg.nist.gov/pdf/pcast_big_data_and_privacy_-_may_2014.pdf, (2014)
- [16] Howard Wactlar, “Big Data Research & Development Initiative “, NIST Big Data Meeting ,
<https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/it/ssd/is/NIST-BD-Platforms-05-Big-Data-Wactlar-slides.pdf>, (2012)
- [17] NITRD (Networking and Information Technology Research and Development), “THE FEDERAL BIG DATA RESEARCH AND DEVELOPMENT STRATEGIC PLAN”,
https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/NSTC/bigdatardstrategicplan-nitrd_final-051916.pdf, (2016)
- [18] IDC, “European Data Market SMART 2013/0063. D8 Second Interim Report”,
<http://docplayer.net/63151960-European-data-market-smart-2013-0063-d8-second-interim-report.html>, (2016)
- [19] BIG DATA EUROPE, “Empowering Communities with Data Technologies”,
<https://www.big-data-europe.eu/>
- [20] European Commission, “Europe2020”,
https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/eu-economic-governance-monitoring-prevention-correction/european-semester/framework/europe-2020-strategy_en, (2010)
- [21] European Commission, “Horizon2020”, <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>, (2014)
- [22] European Commission, “Towards a thriving data-driven economy”,
<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/EN/1-2014-442-EN-F1-1.Pdf>, (2014)
- [23] European Commission, “Building a European Data Economy”,
<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/EN/1-2014-442-EN-F1-1.Pdf>, (2017)
- [24] European Commission, “GDPR : General Data Protection Regulation”,
<https://gdpr-info.eu/>, (2016)
- [25] TechRepublic, “Big data, business analytics to hit \$203 billion by 2020, says IDC report”,
<https://www.techrepublic.com/article/big-data-business-analytics-to-hit-203-billion-by-2020-says-idc-report/>, (2016)
- [26] IT 総合戦略本部, “電子行政オープンデータ戦略”,
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/pdf/120704_siryoun2.pdf, (2012)
- [27] IT 総合戦略本部, “世界最先端 IT 国家創造宣言”,
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20160520/siryoun1.pdf>, (2018)
- [28] IT 総合戦略本部, “官民一体となったデータ流通の促進”,
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/densi/opendata2/data_sokushin.pdf, (2018)
- [29] “行政手続における特定の個人を識別するための番号の利用等に関する法律”,
<http://www.cao.go.jp/bangouseido/pdf/20170530bangouhou.pdf>, (2017)

- [30] 日本経済再生本部, “日本再興戦略 2016”,
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/2016_zentaihombun.pdf, (2016)
- [31] “官民データ活用推進基本法”,
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/hourei/pdf/detakatsuyo_honbun.pdf, (2016)
- [32] “世界最先端 IT 国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画”,
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20170530/siryou1.pdf>, (2017)
- [33] 日本経済再生本部, “未来投資戦略 2017”,
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2017.pdf>, (2017)
- [34] 総合科学技術・イノベーション会議, “第 5 期科学技術基本計画”,
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>, (2016)
- [35] 総合科学技術・イノベーション会議, “科学技術イノベーション総合戦略 2017”,
<http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/2017/honbun2017.pdf>, (2017)
- [36] 科学技術振興機構, “研究開発の俯瞰報告書”,
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2016/FR/CRDS-FY2016-FR-08.pdf>, (2016)
- [37] McKinsey&Company, “The age of Analytics : Competing in a Data-Driven World”,
<https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights/the-age-of-analytics-competing-in-a-data-driven-world>, (2016)
- [38] 日本学術会議, “ビッグデータ時代に対応する人材の育成”,
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t198-2.pdf>, (2014)
- [39] OECD, “Big Data : Bringing Competition Policy to the Digital Era”,
[https://one.oecd.org/document/DAF/COMP\(2016\)14/en/pdf](https://one.oecd.org/document/DAF/COMP(2016)14/en/pdf), (2016)
- [40] 公正取引委員会, “データと競争政策に関する検討会報告書”,
<http://www.jftc.go.jp/cpre/conference/index.files/170606data01.pdf>, (2016)
- [41] 集めないビッグデータコンソーシアム, “平成 27 年度集めないビッグデータコンソーシアム
 成果報告書—パーソナルデータエコシステムの実現—”,
<https://www.ducr.u-tokyo.ac.jp/content/400060390.pdf>, (2015)
- [42] 内閣官房 IT 総合戦略室, “AI、IoT 時代におけるデータ活用ワーキンググループ 中間とり
 まとめ”,
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/data_ryutsuseibi/dai2/siryou1.pdf,
 (2017)
- [43] Wired, “BITCOIN MINING GUZZLES ENERGY—AND ITS CARBON FOOTPRINT
 JUST KEEPS GROWING”,
<https://www.wired.com/story/bitcoin-mining-guzzles-energyand-its-carbon-footprint-just-keeps-growing/>, (2017)
- [44] BigchainDB GmbH, Berlin, Germany , “A BigchainDB Primer”,
<https://www.bigchaindb.com/whitepaper/bigchaindb-primer.pdf>, (2017)
- [45] Guardtime AS, Tallinn University of Technology, “Keyless Signatures’ Infrastructure :
 How to Build Global Distributed Hash-Trees”, <https://eprint.iacr.org/2013/834.pdf>,
 (2013)