

## **第4章 評価指標による異分野融合研究の 動向**



## 第4章 評価指標による異分野融合研究の動向

### 1. NSF データ (Global Share of Articles) による研究動向

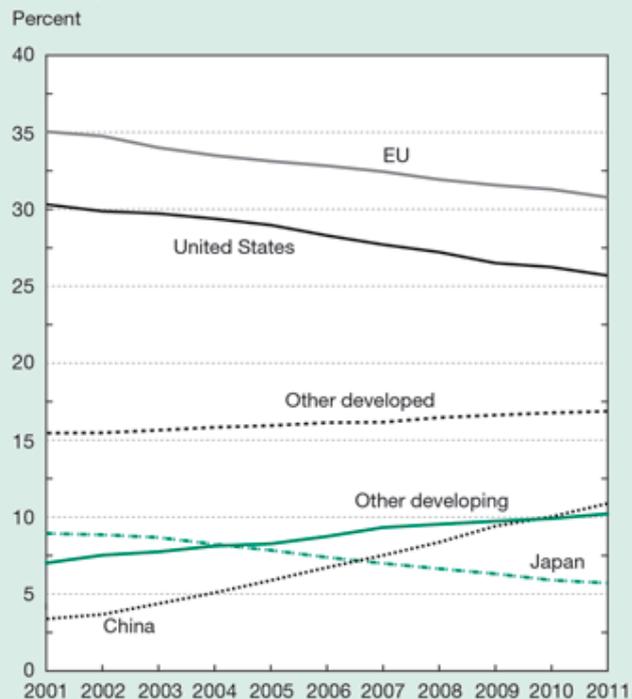
#### 1.1. NSF による科学・工学研究動向の国際比較

数学・数理科学の融合研究についての動向を理解するために、その背景として、数学研究の動向の概要、さらには我が国の科学研究の動向を把握する。ここでは、米国の国立科学財団 (National Science Foundation : NSF) による統計データを利用して分析を行った。NSF は、米国における医学分野以外の科学・工学分野全般にわたる研究と教育を推進している連邦政府機関である。

#### 1.2. 科学・工学分野の論文シェア

国際的な研究動向を見るために、出版学術論文のシェアを概観する。右図は、NSF が分析した2001年から2011年の科学・工学分野の出版論文の国別シェアの推移である。2011年のシェアは米国26%、中国11%、日本6%である。欧州、米国、とともに、我が国のシェアは減少傾向にある (日本は9%から6%へ)。その一方、中国のシェアは大幅に拡大し、また他の開発国の伸び率もかなり高い。

Figure 5-19  
S&E articles, by global share of selected region/  
country: 2001-11



EU = European Union.

NOTES: Article counts are from the set of journals covered by the Science Citation Index (SCI) and Social Sciences Citation Index (SSCI). Articles are classified by the year of publication, and are assigned to a country/economy on the basis of the institutional address(es) listed in the article. Articles are credited on a fractional-count basis (i.e., for articles with collaborating institutions from multiple countries/economies, each country/economy receives fractional credit on the basis of the proportion of its participating institutions). Counts for all six groups sum to the world total. Data for Bulgaria, Hungary, and Romania are included with the EU and not with developing economies.

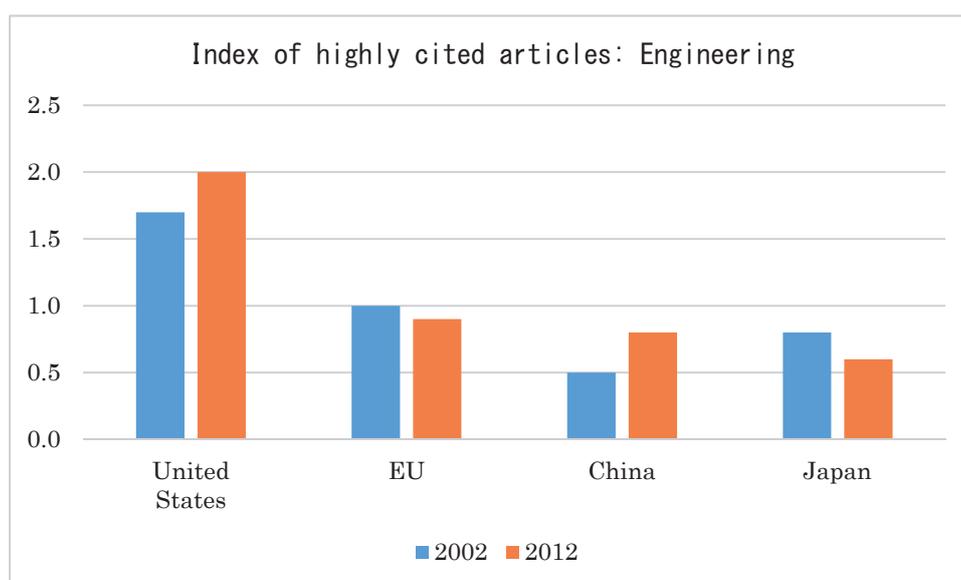
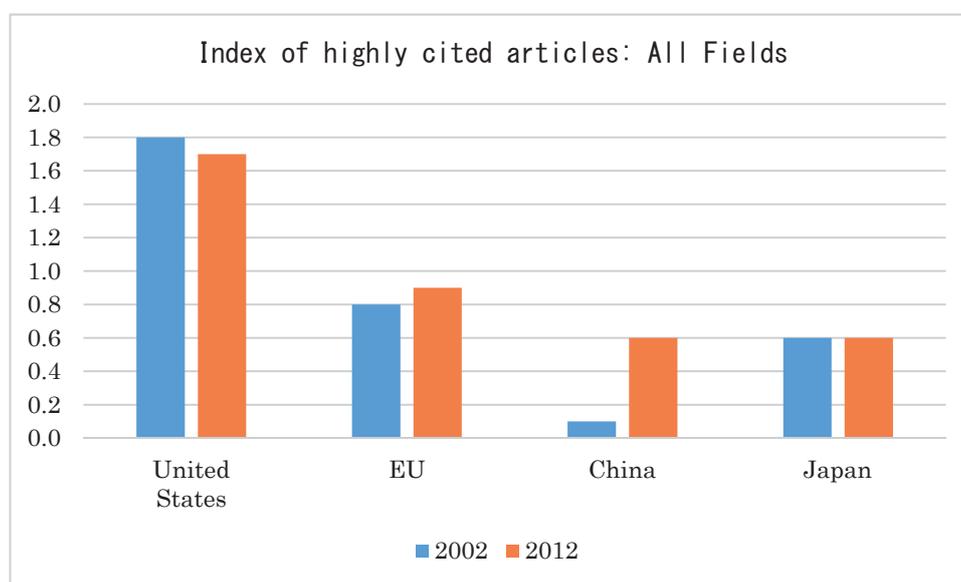
SOURCES: National Science Foundation, National Center for Science and Engineering Statistics, and The Patent Board,™ special tabulations (2013) from Thomson Reuters, SCI and SSCI, [http://thomsonreuters.com/products\\_services/science/](http://thomsonreuters.com/products_services/science/). See appendix table 5-26.

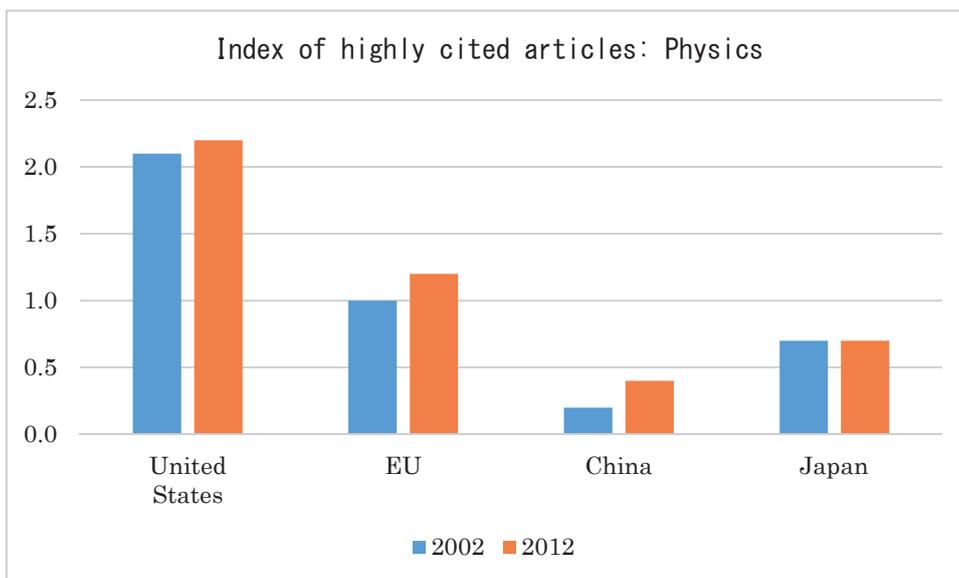
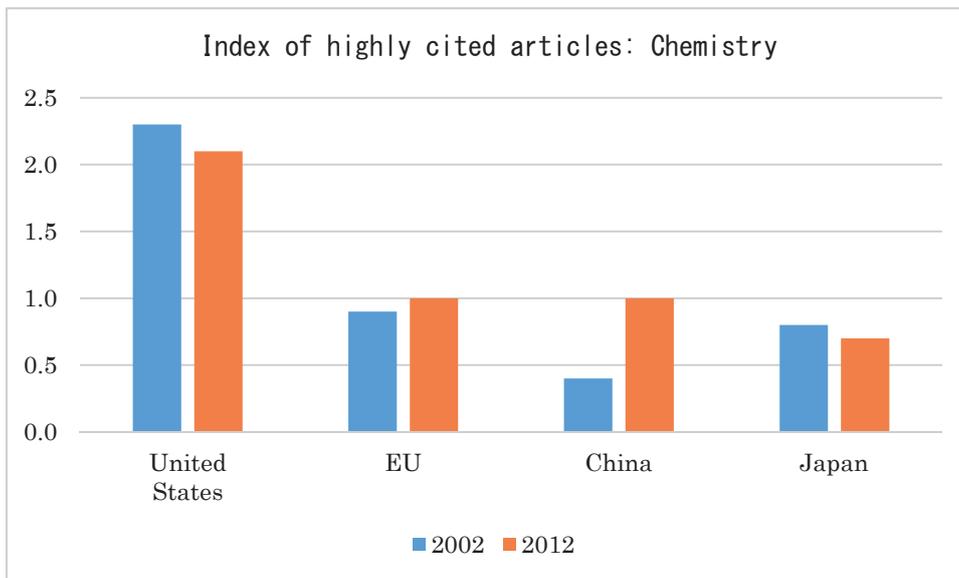
Science and Engineering Indicators 2014

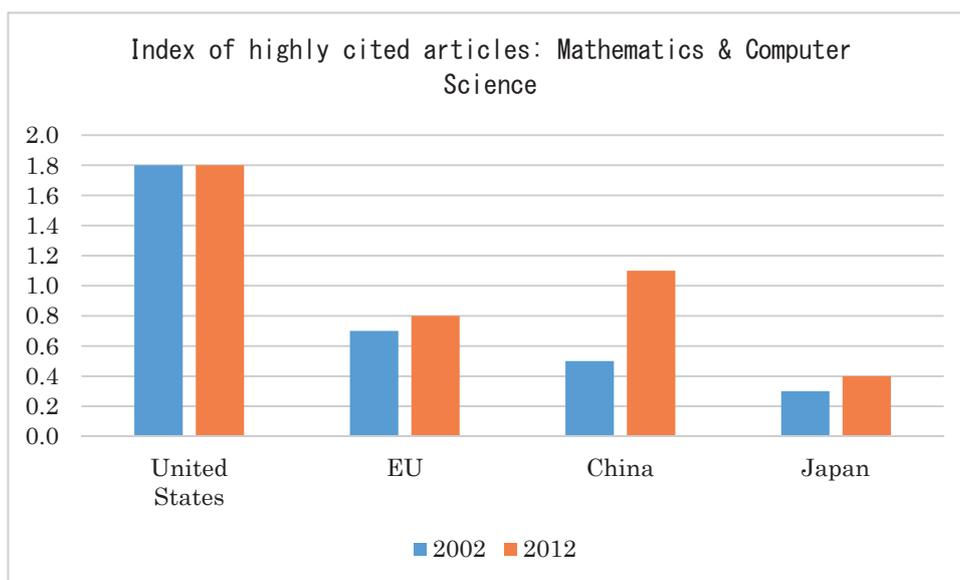
### 1.3. 各研究分野の高引用論文指標の変化

NSF では、トムソン・ロイター社のデータを基にして、世界引用数トップ1% 論文をその期間 [cited year window] の国別シェアで割ったものによる国別の論文シェア「高被引用論文指標 (The index of highly cited articles)」による調査を行っている。(http://www.nsf.gov/statistics/seind14/index.cfm/chapter-5/c5s4.htm を参照)。ただし、この高引用論文指標の算出は「国補正」とよばれており、開発国に有利であるという批判があることには注意が必要である。

以下に、米国、欧州、中国、日本別の全分野、工学、化学、物理、数学および計算機科学における、高引用論文指標の2002年と2012年の変化を示す。



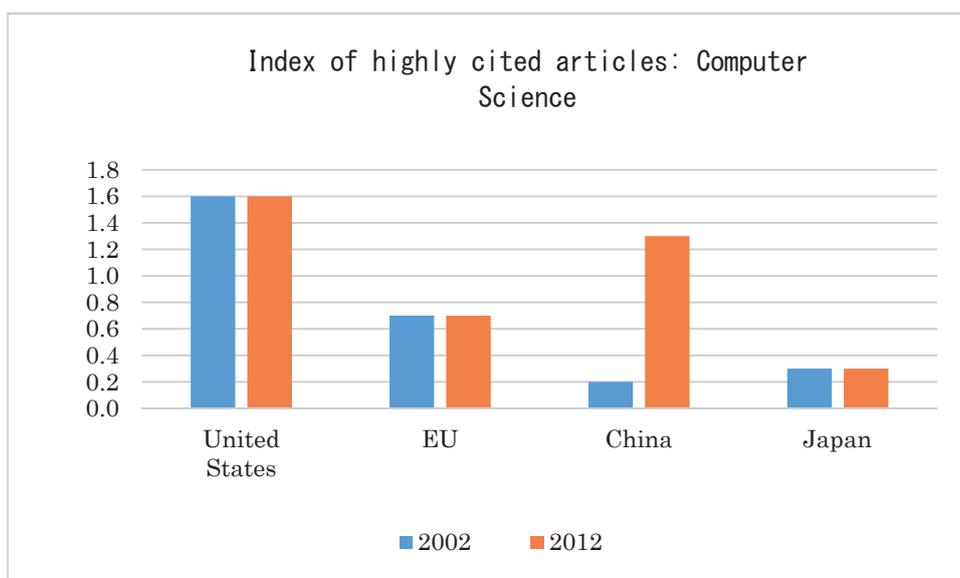


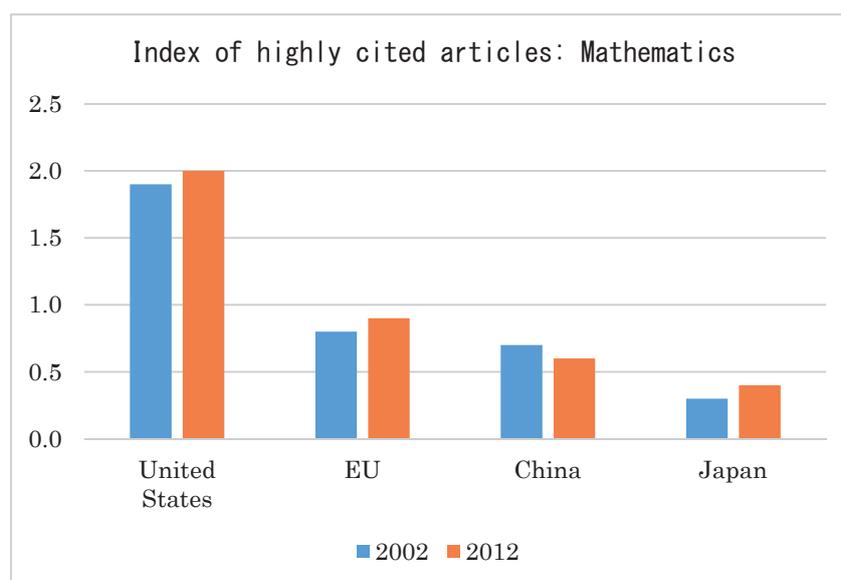


日本は、全分野および物理では横ばい、工学および化学では減少、数学および計算機科学では微増である。一方、中国の伸びは、分野全体では急激であり、数学および計算機科学と化学でも伸びている。物理も微増である。

#### 1.4. 数学と計算機科学について

この NSF の高引用論文指標の変化を数学と計算機科学についてさらに詳しく示す。





日本の計算機科学は、ほとんど変化が見られないが、数学は上昇している。一方、中国の計算機科学は大きな伸びがみられるが、数学はやや減少している。なお、科学技術・学術政策研究所 (NISTEP) の報告書では、わが国の計算機科学・数学分野のトップ1% 補正論文数の世界ランクは2001-2003年の8位から2011-2013年の20位へと大幅に下がっている。このNISTEPの報告と本データからの帰結との食い違いは、用いた指標の違い、およびシェアの割合の変化が国別ランクの変化に必ずしも直結しないことによると思量される。

## 2. MathSciNet によるキーワード検索での融合研究動向

### 2.1. 異分野のキーワードを含む論文数の年次変化

米国数学会 (American Mathematical Society) は、世界の数理科学 (数学および数学を応用した学問分野) の論文 (雑誌論文、書籍、会議録等) のレビューを1940年に創刊した定期刊行物「Mathematical Reviews (MR)」で提供している。MRには論文のレビューの他、定期刊行物「Current Mathematical Publications: CMP」から書誌、抄録が収録されるとともに数学主題分類であるMSC (Mathematical Subject Classification: MSC) が各論文情報に付与されている。「MathSciNet (<http://www.ams.org/mathscinet/>)」はMRをベースに、電子ジャーナル論文へのダイレクトリンク、参考文献リストの追加、引用情報の追加などのオンライン・データベースであり、インターネットを通じてサービスされている。

この項では2000年から2014年までにMathSciNetにとりあげられた、いくつかの異

分野キーワードを持つ論文の数の推移をグラフにまとめたものを示す。

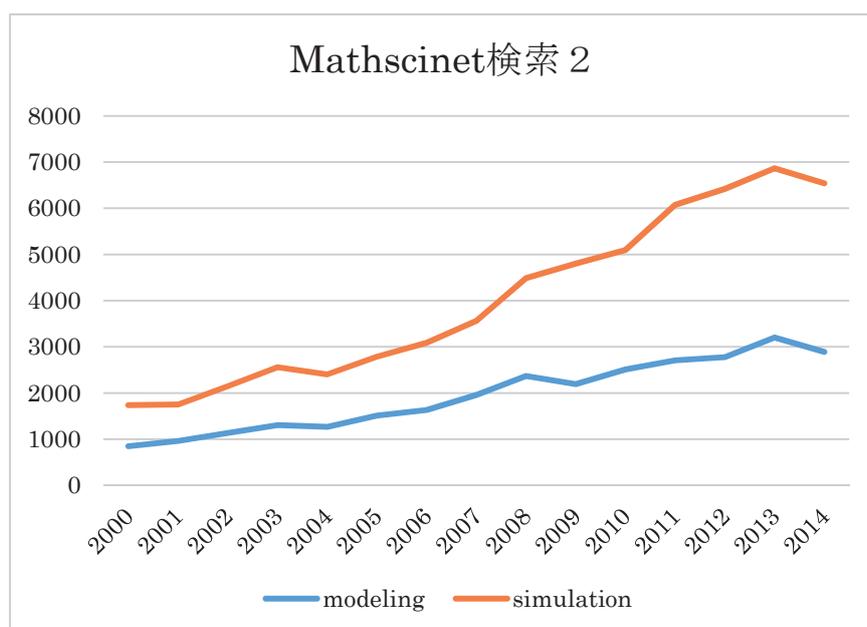
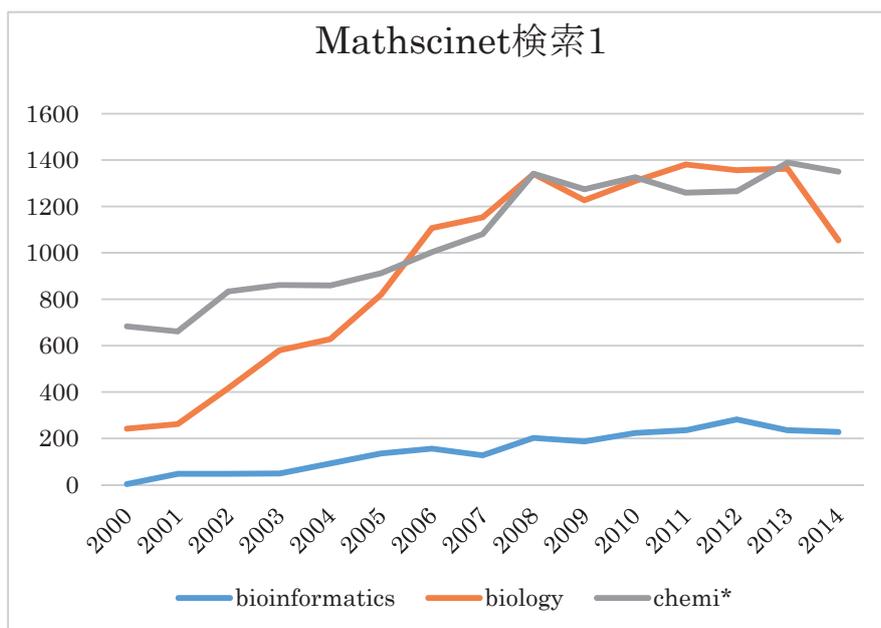
それぞれ、以下のキーワードで検索した。

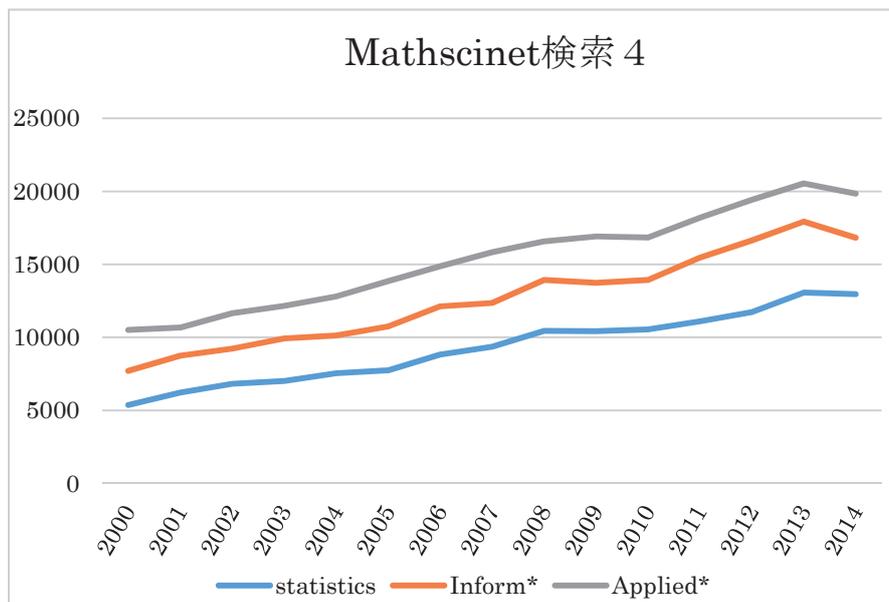
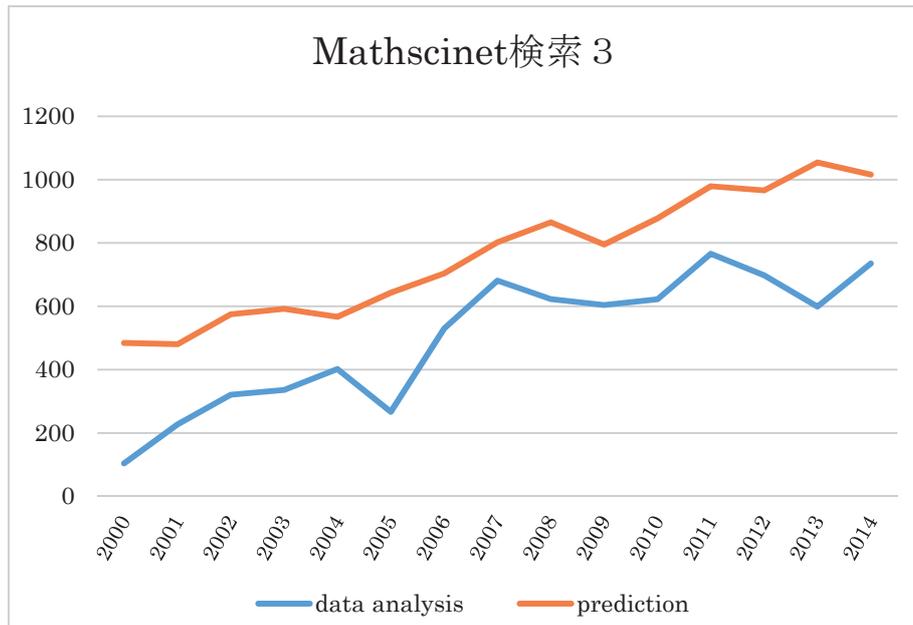
検索1 bioinformatics、biology、chemi-

検索2 modeling、simulation

検索3 data analysis、prediction

検索4 statistics、Inform-、Applied-

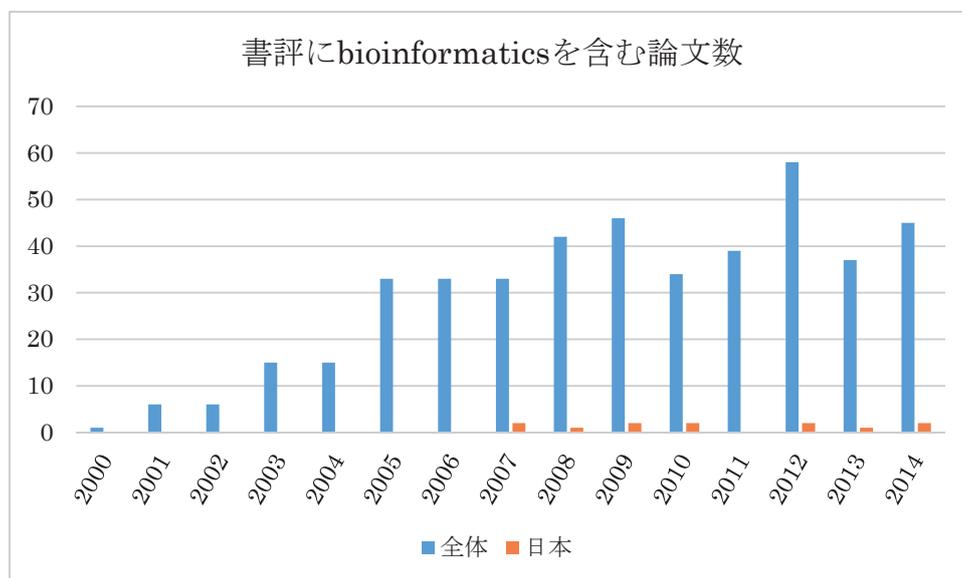
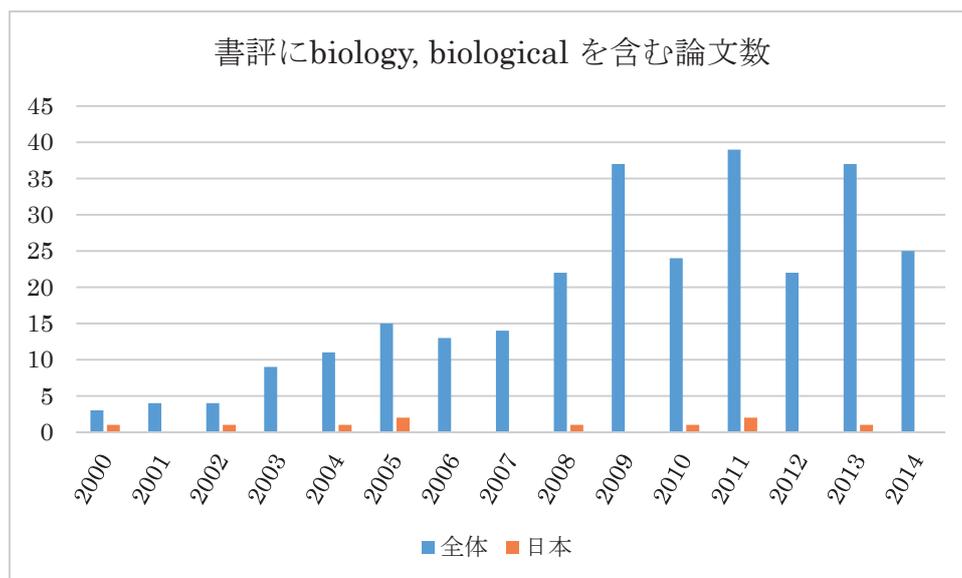




bioinformatics、biology、chemi-、modeling、simulation、data analysis、prediction、statistics、Inform-、Applied- の10種類について調べているが、いずれも単調に増加している。これは、世界的に見て、異分野との融合が年々進んできている傾向が、数学分野の論文にも現れていると考えられる。

## 2.2. 書評に現れるキーワードによる論文数の年次変化

MathSciNet には国別の分類を行う機能はないため、MathSciNet 上の検索結果からわが国における動向を直接把握することは困難である。そこで、書評に他の分野との関連を示すものとして、biology または biological、および bioinformatics のキーワードを含む論文を検索し、その著者が日本人である（共著を含む）論文数の年次変化を調べた。



このほかにも、material science などのキーワードを含む論文数を調べても、日本人が著者として加わっている論文数はごくわずかであり、日本人の研究者が数学分野の雑誌に融合分野の研究報告をすることは少ないという傾向が見てとれる。ただし、

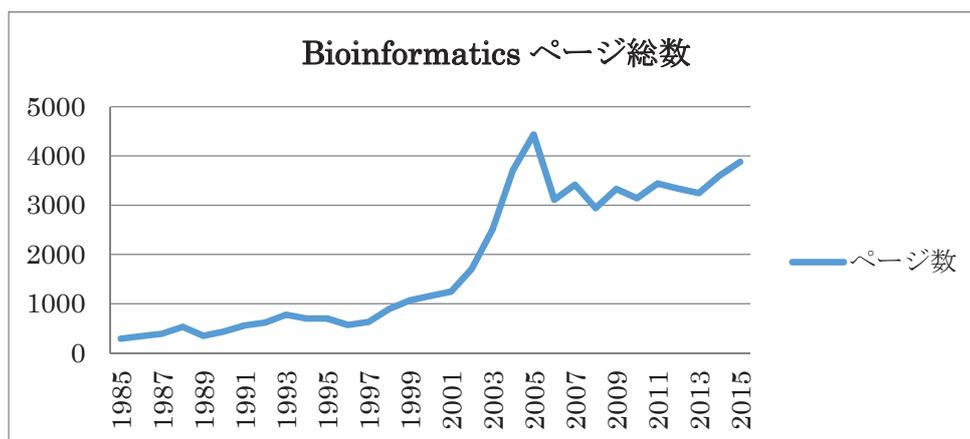
MathSciNet のデータベースには採録されていない雑誌が少なくない点については検討が必要であろう。

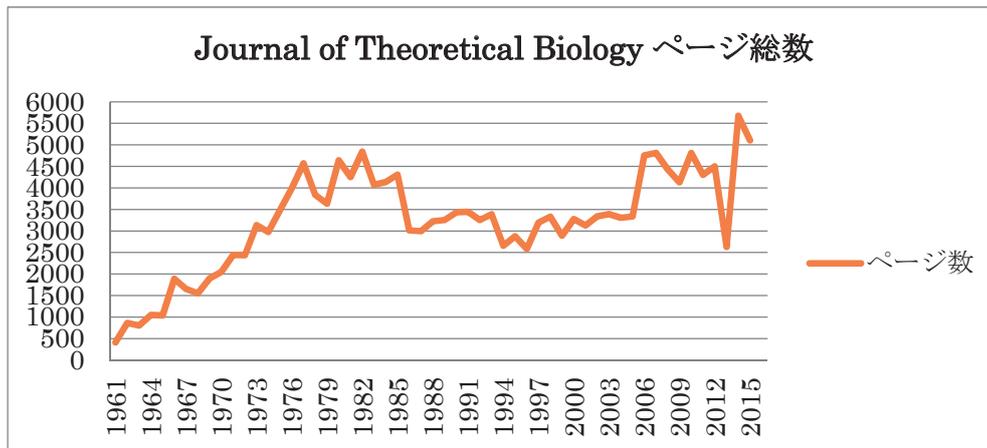
(MathSciNet の採録雑誌一覧は、以下を参照。[http://www.ams.org/mathscinet/help/msnlinking\\_by\\_journal.html](http://www.ams.org/mathscinet/help/msnlinking_by_journal.html) )

### 3. 融合研究学術雑誌を使った数学・数理科学融合研究の動向

#### 3.1. 雑誌 Journal of Theoretical Biology および Bioinformatics におけるページ数の年次変化

Journal of Theoretical Biology は1961年に Elsevier から創刊された生物学的な過程全般を理論的に取り扱う論文を掲載する雑誌である。一方、Bioinformatics は1985年に Oxford University Press から創刊された遺伝子生物学、生命情報科学、計算機生物学を対象とした雑誌である。この二つの雑誌の総ページ数の年次変化をグラフにしたものが次の表である。





Bioinformatics では、初年度には200ページ未満だったのが2015年には3600ページほどになっており、年度ごとに増加している。2003-4年に急にページ数が増えたのはヒトゲノム解析が完了したからである。一方、Journal of Theoretical Biology は1980年前後にピークがあり、その後やや停滞し最近また増加の傾向になる。いったん停滞したのは、他の数理生物系の雑誌が刊行されてきたためと考えられる。この結果から、生物学分野では数学との融合研究が年々増加していると考えられる。

### 3.2. Nature 誌の学際研究特集号

Nature 525 (17 September 2015) は学際研究 (interdisciplinary research) の特集号であり、世界的にも学際的研究の重要性について関心が集まっており、学際的な研究を呪わしいものではなく、喜ばしいものにするために、行政府や研究費提供組織、学術雑誌、大学、研究機関、研究者はそれぞれ何をすべきかを検討している。この特集における論文では、数値的に、学際的研究の重要度や分野による学際的研究の割合などを論じている。特に、論文: Interdisciplinary research by the numbers (数字で見る学際研究) An analysis reveals the extent and impact of research that bridges disciplines、Richard Van Noorden 著、Nature 525、306-307 (17 September 2015) doi:10.1038/525306a では、学際研究について数値的なデータをあげ、学際研究の動向を示している。以下では、この論文のデータに基づき、近年の学際的研究の動向などを報告する。なお、この号では、How to solve the world's biggest problems、Heidi Ledford 著、p.308-311 (学際的研究チーム構成の難しさや利点やについて)、また、editorials として、Too close for comfort? p.289 (産業界と研究者との関係をどう捉えるかは難しいが、大学や研究機関は「利益相反」を精査するためにまだまだ取り組むべきことがある。)、Mind meld p.289 (学際的な科学研究を成功させるには、時間はかかるが、分野間の隔たりをなくして共通の地盤を作っていく必要がある。) ことなどが論じられている。

### (1) 同種分野および異分野間の論文引用の推移

1950年から2010年までの、web of science に掲載された約35万編の論文を対象に、14の主な学問分野（たとえば、物理学、生物学など）と143の専門分野について、お互いの中でどのように論文が引用されているかを調べたところ、自然科学および工学では、同じ専門分野間での論文引用は1980年代半ばまでほぼ横ばいだが、その後減少傾向にある。また、異なる専門分野間の論文引用は1960年代半ばまでは増加し、その後横ばい、あるいはやや減少傾向にある。一方、異なる学問分野間では、1960年まで減少したもののその後横ばいとなり、1980年ごろからだんだん増加している。人文・社会科学分野も似たような傾向を示している。1980年代以降を見ると、同じ専門分野内での論文引用は年を追うごとに減少し、異なる専門分野間ではほぼ横ばいであり、異なる学問分野間では増加している。

### (2) 学際的 (interdisciplinary) という言葉の使われ方

学際的研究についての講演は年々増加傾向にある。「interdisciplinary」という言葉がタイトルについた論文の数は、人文・社会科学分野では、揺らぎながらも年々増加している。また自然科学および工学分野でも、年を追うごとに増加している。特に21世紀にはいつてから、その増加は顕著である。

### (3) 学際的研究が認められるには時間がかかる

出版後3年間および13年間における論文の引用数を、二つの学際性の指標を用いて、学際性の大きさによって、どのように変わるかを調べたもの。一つの指標は、引用される分野の広さであり、もうひとつ引用される分野の知的な距離 (intellectual distance) である。どちらの指標についても、3年後では、学際性が高いほど、引用は少ないが、13年後では、学際性が高いほど引用が多くなっている。特に知的な距離で見た場合、その傾向が著しいことがわかる。

### (4) 2014年の分野別学際研究指標

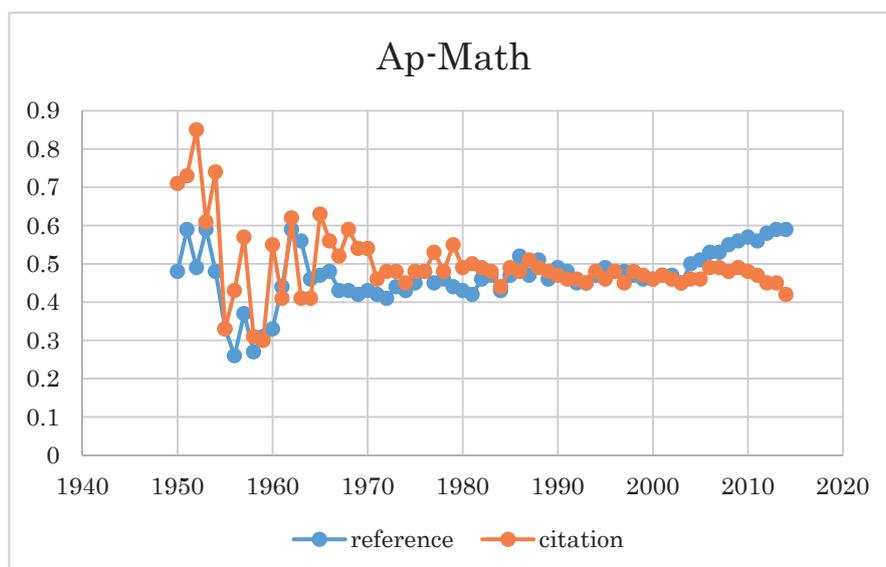
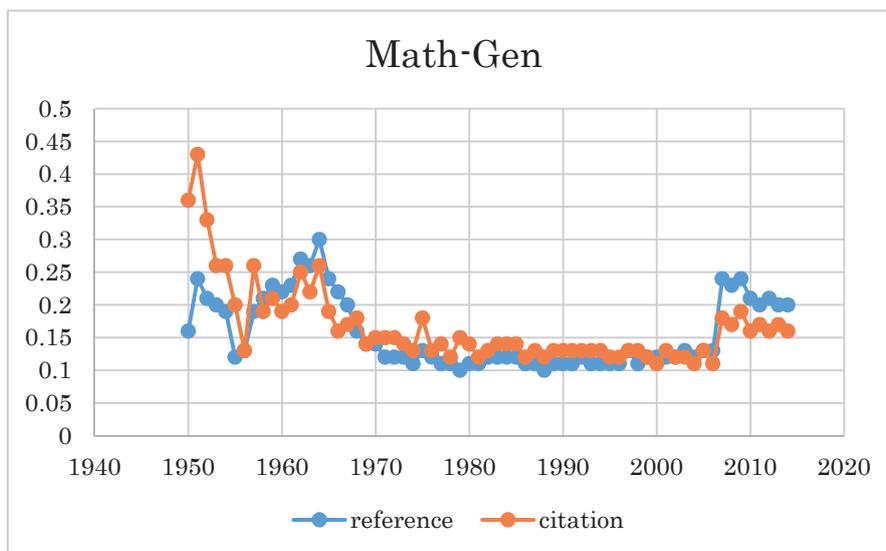
次の表は、分野別に見た学際性の高さを示している。各分野の論文において、reference（他分野の論文を引用した割合）、citation（他分野の論文に引用された割合）を示す。%が高いほど、より学際的と考えられる。生物学関連分野は一般に学際性が高く、素粒子・原子核理論および手術分野は学際性が高くない。

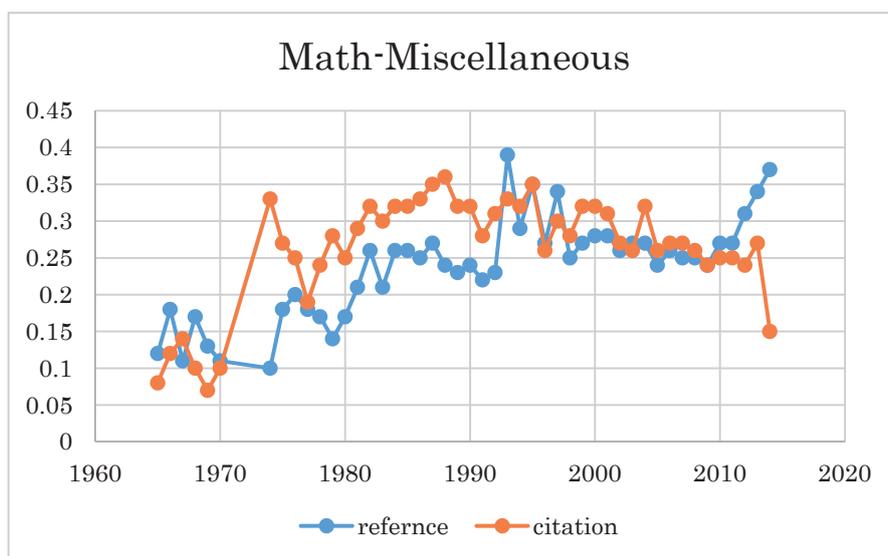
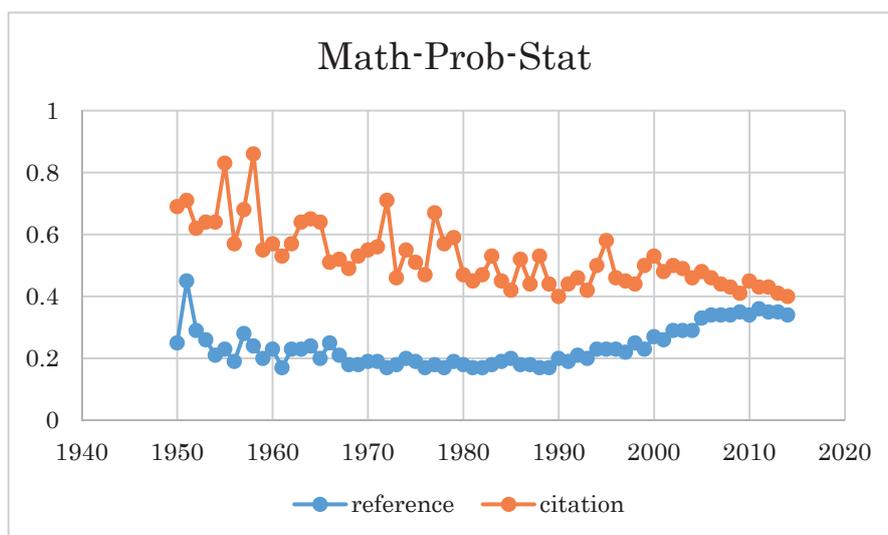
	General Biology	Miscellaneous Biology	General Biomedical research	Science studies	Biomedical Engineering	Physiology	Applied Chemistry	Environment al Science	Chemical physics
reference	74%	69%	61%	70%	55%	53%	68%	54%	54%
citation	71%	68%	59%	51%	60%	50%	45%	41%	52%
	Biophysics	Applied Mathematics	Agricult&Food science	Pharmacy	Applied Physics	Economics	Probability& Statistics	Applied Physics	Biochemistry &molecular biology
reference	46%	59%	43%	44%	41%	33%	34%	41%	39%
citation	52%	42%	40%	49%	31%	35%	40%	38%	43%
	Solid State Physics	Optics	General Zoology	General Chemistry	General Physics	Miscellaneous Mathematics	General Mathematics	Nuclear&Part icle Physics	Surgery
reference	34%	37%	48%	40%	28%	37%	20%	10%	9%
citation	35%	27%	29%	25%	21%	15%	16%	11%	11%

数学は4分野に分けられ、表では文字を黄色く表した箇所に示されている。応用数学 (Applied Mathematics) や確率・統計分野 (Probability & Statistics) はある程度学際性が高いが、純粋数学 (General Mathematics) は低い。

### 3.3. 数学分野の学際性の年次変化

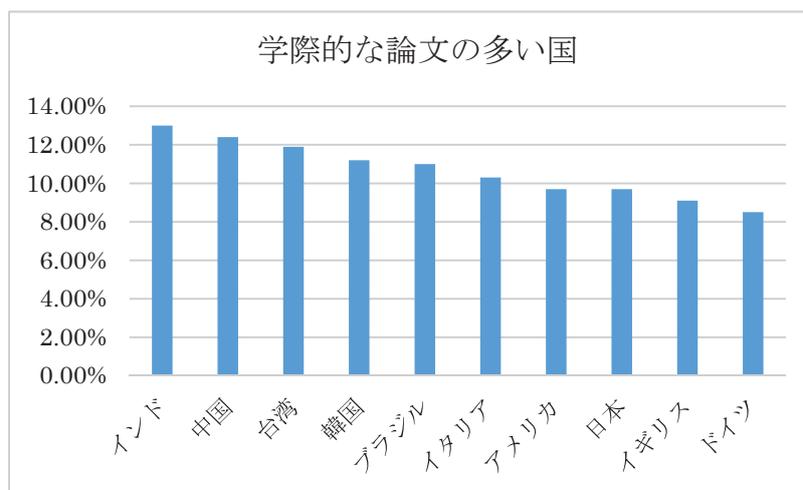
一般数学 (Math-Gen)、応用数学 (Ap-Math)、確率・統計 (Math-Prob-Stat)、それ以外の数学関連分野 (Math-Miscellaneous) の学際性の年次変化を、reference と citation を指標に表したものが次の4つの図である。





### 3.4. 国別に見た学際的論文の割合

国別に学際的な論文の割合を見ると、次のようなグラフが得られる。インドや中国など新興国では学際性の高い論文が多いことがわかる。

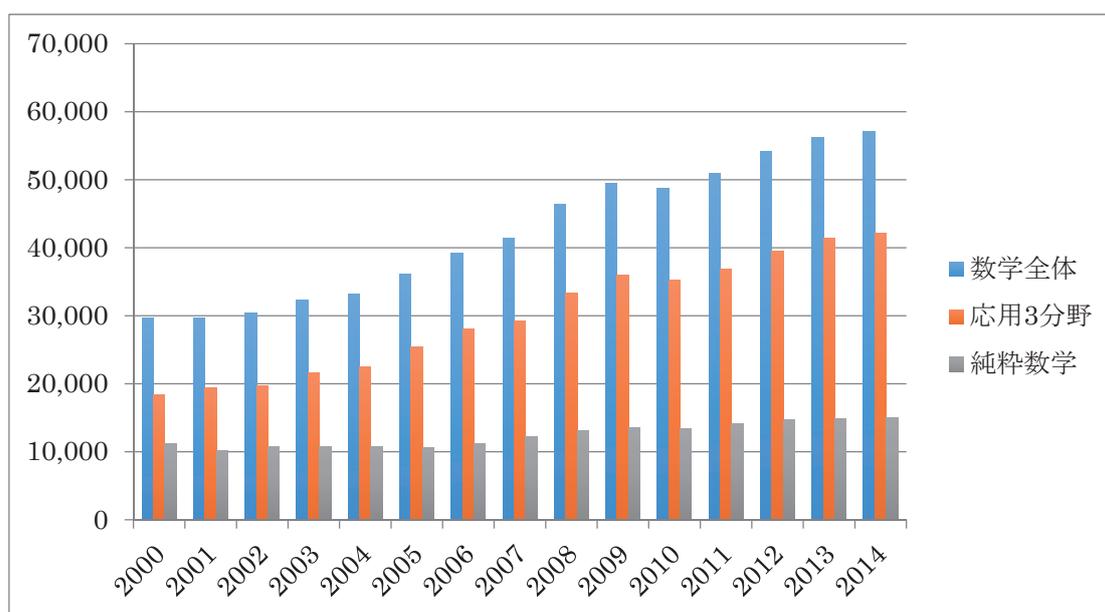


## 4. 数学・数理科学と他分野との融合研究動向

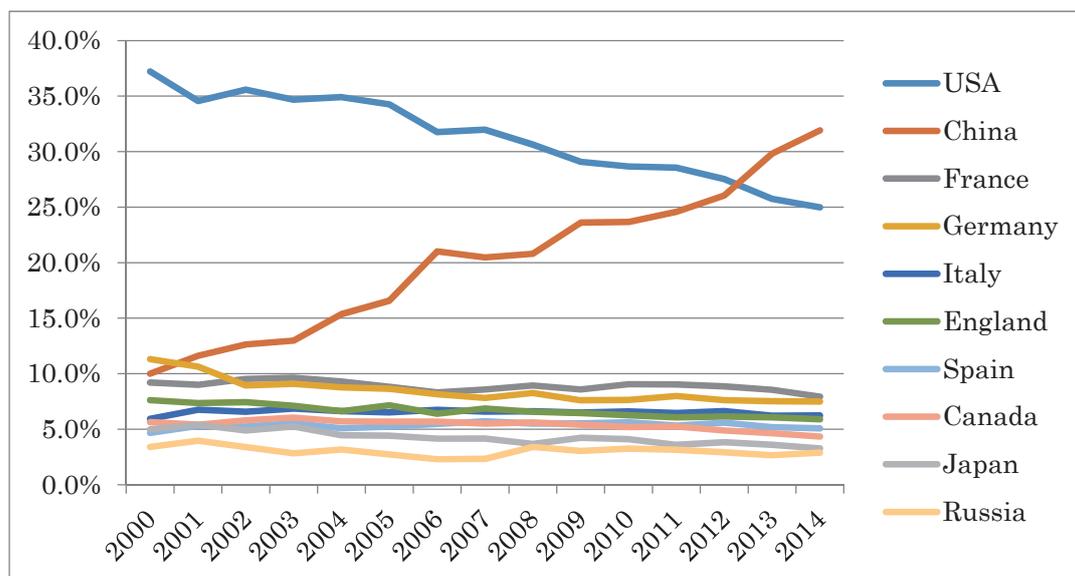
### 4.1. 学術文献データベースによる分野別論文数の年次変化

現在、様々な企業、団体がオンライン学術文献データベースを提供している。これらのデータベースを利用して、国内外の膨大な論文、雑誌等の学術情報を検索し、先行研究を調べることが容易となった。主要な学術文献データベースの一つにトムソン・ロイター社が提供する Web of Science (WoS) がある。以下に、2000年から2014年の、WoS 数学分野全体の論文数、上位10カ国の応用数学分野の論文数、応用数学分野のシェアの推移を示す。

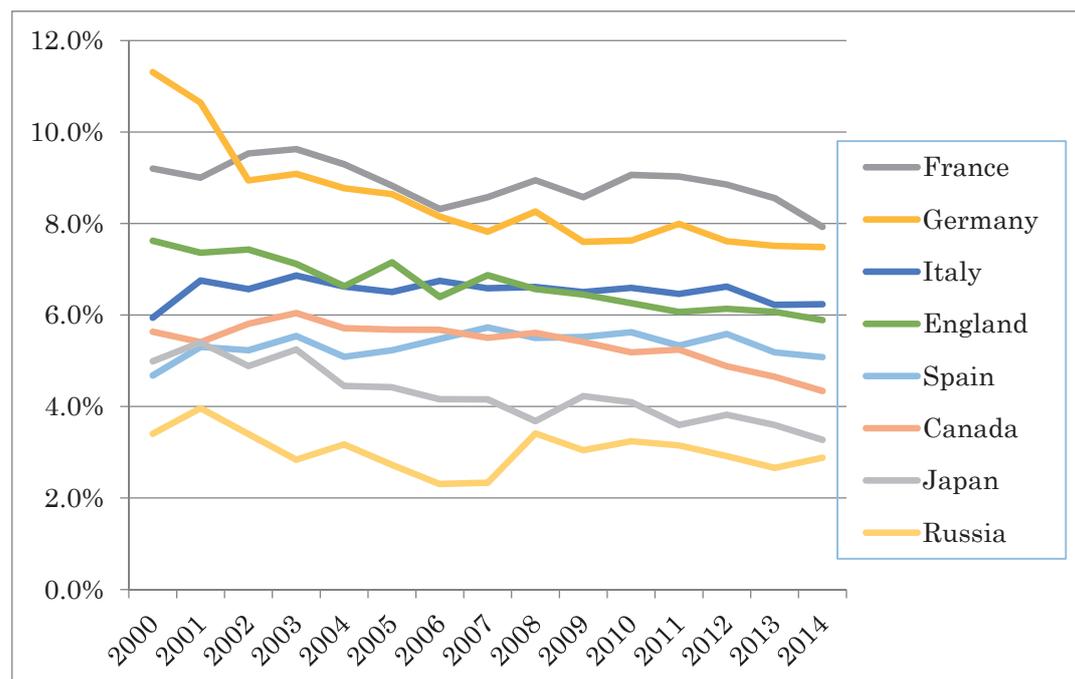
#### 世界の数学論文数の推移



### 上位10カ国の応用数学論文数推移



### 上位3～10位の国の応用数学論文シェア推移



それぞれ以下の条件で検索した。

数学全体 = 主要22分野で mathematics に分類されているもの

応用3分野 = 上記のうち Mathematics, Applied OR Mathematics, Interdisciplinary Applications OR Statistics & Probability に分類されているもの

純粋数学 = mathematics のうち応用3分野を除外したもの

今回の検索結果では、応用数学の論文数は中国が急増しており、日本は2014年の時

点では応用論文のシェアはカナダについて9位となっている。

## 4.2. 学術文献データベースによる国別融合研究の動向調査

### (1) 共著論文リストの集計による研究者の学術分野

数学・数理科学の学術的成果は、他分野論文からの引用(インパクト)という形では捉えにくい。一方、数学・数理科学の研究者と他分野の研究者との学際的研究活動の成果は論文の共著として現れてくるはずである。そこで学術論文の共著に注目し、国際比較、年次変化を調べた。

### (2) 書誌データにおける共著リストを用いた研究者の専門領域の特定

1-1 WoSの著者において、組織  $O_i$  に所属する者(著者  $A_{ij}$ )を特定する

2-1 著者  $A_{ij}$  が関連する(単著、共著)の論文  $P_{ijk}$  を特定する。

2-2 論文  $P_{ijk}$  のカテゴリ(小分類  $WID_{ijk}$ )から大分類  $EID_{ijk}$  を特定する

3-1 論文  $P_{ijk}$  を大分類  $EID_{ijk}$  にて分類して集計する。

3-2 最も多い大分類が、その著者の専門分野  $MMIC_{ij}$  となる。これが Category 情報である。

3-3 Category ( $MMIC_{ij}$ ) の論文数とその他の論文数の比を求める ( $MMIR_{ij}$ )。これが Ratio 情報である。

3-4 結果をまとめると

Category ( $MMIC_{ij}$ ) : 著者の専門分野

Ratio ( $MMIR_{ij}$ ) : 著者の専門分野への集中度

組織  $O_i$  の所属研究者の場合

所属研究者の専門分野の分布 :  $\sum MMIC_{ij}$

所属研究者の専門分野への集中度の分布 :  $\sum MMIR_{ij}$

所属研究者の専門分野  $m$  への集中度 :  $(\sum MMIR_{ij} (MMIC_{ij}=m)) / (\sum MMIC_{ij} (MMIC_{ij}=m))$

なお、以下では、研究者の専門分野へ集中度の比率集積の逆を異分野融合度とした。

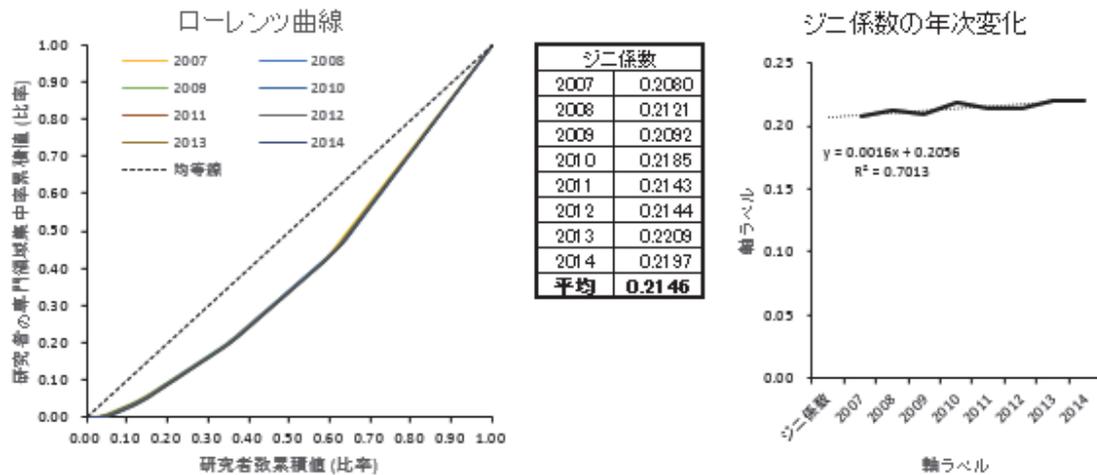
### (3) ジニ係数による地域別融合研究の年次変化

各研究者の異分野融合度を主要15ヶ国の国別にて、その時系列変化を分析した。以下に分析手順と結果の詳細を示す。

分析手順: 分析は2段階で行った。まず、各研究者の異分野融合度の年次変化を国別分布にローレンツ曲線で示した。次に、その特徴をジニ係数を用いて定量化して比較検討を行った。下図は、JapanのMATHEMATICS分野における研究者の異分野融合度を

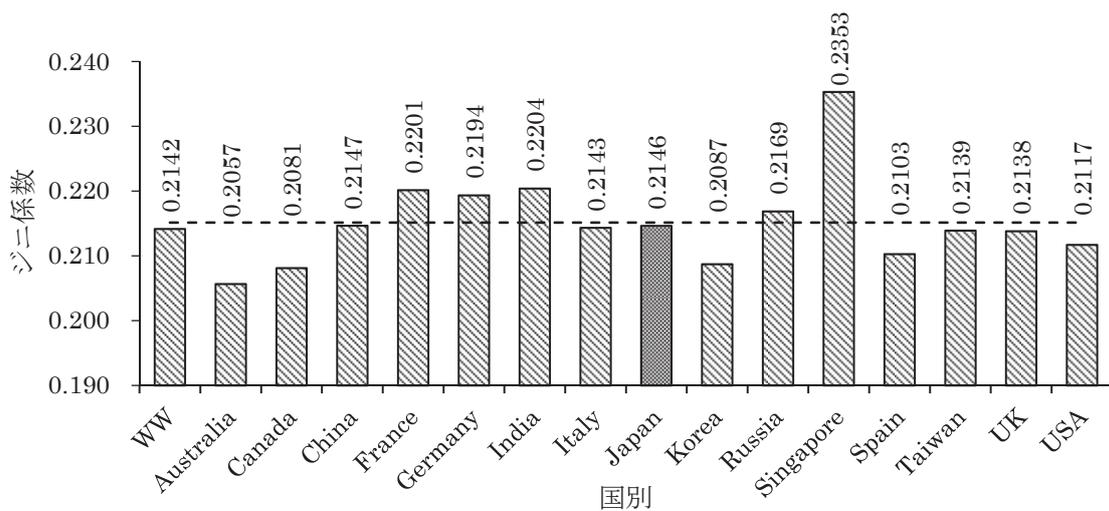
示したものである。左図は、異分野融合度の分布をローレンツ曲線にて示したものである。そして、右図と表は、その結果をジニ係数で示したものである。2007年から2014年におけるジニ係数の平均は0.2146であった。そして、その年次変化を回帰分析すると、傾きが0.0016で切片が0.2056であり、決定係数R<sup>2</sup>は0.7013と高い相関があることを示している。

### Japan の異分野融合度とその年次変化 MATHEMATICS (2007-2014)



分析結果① - 異分野融合度の順位: 下図に主要15か国の MATHEMATICS 分野における異分野融合度を示す。なお、この値は2007年から2014年までの平均値である。Japan はジニ係数が0.2146であった。

### 異分野融合度の国別比較 MATHEMATICS (2007-2014の平均)



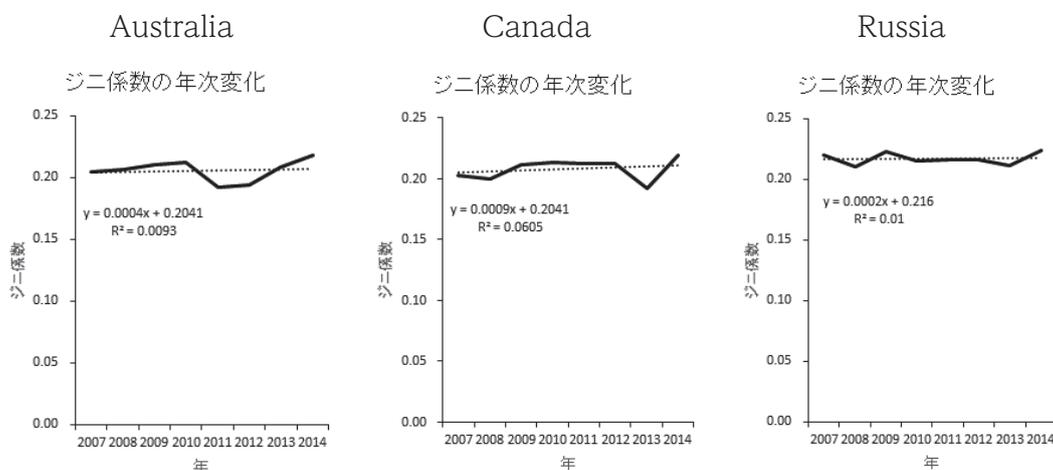
分析結果② - 異分野融合度の伸び率：下記の表に主要15か国の MATHEMATICS 分野における異分野融合度の伸び率を示す。なお、この分析では、2007年から2014年までの平均値を用いる。Japanはジニ係数の伸び率(傾き)が0.0016であった。特筆すべき点として、Singaporeの伸び率(傾き)が-0.0110で減少傾向を示している点が挙げられる。

異分野融合度の年次変化 - 国別比較 MATHEMATICS (2007-2014)

国別	地域			OLS#1	国別	地域			OLS#1
	EU	NA	Asia			EU	NA	Asia	
Australia	0	0	1		Korea	0	0	1	0.0017 ** 0.2009
Canada	0	1	0		Russia	0	0	1	
China	0	0	1	0.0020 ** 0.2057	Singapore	0	0	1	-0.0110 ** 0.2848
France	1	0	0	0.0021 ** 0.2107	Spain	1	0	0	0.0006 * 0.2077
Germany	1	0	0	0.0009 ** 0.2153	Taiwan	0	0	1	0.0020 ** 0.2047
India	0	0	1	0.0033 ** 0.2057	UK	1	0	0	0.0019 ** 0.2052
Italy	1	0	0	0.0016 ** 0.2073	USA	0	1	0	0.0018 ** 0.2036
Japan	0	0	1	0.0016 ** 0.2056	WW	0	0	0	0.0012 ** 0.2087

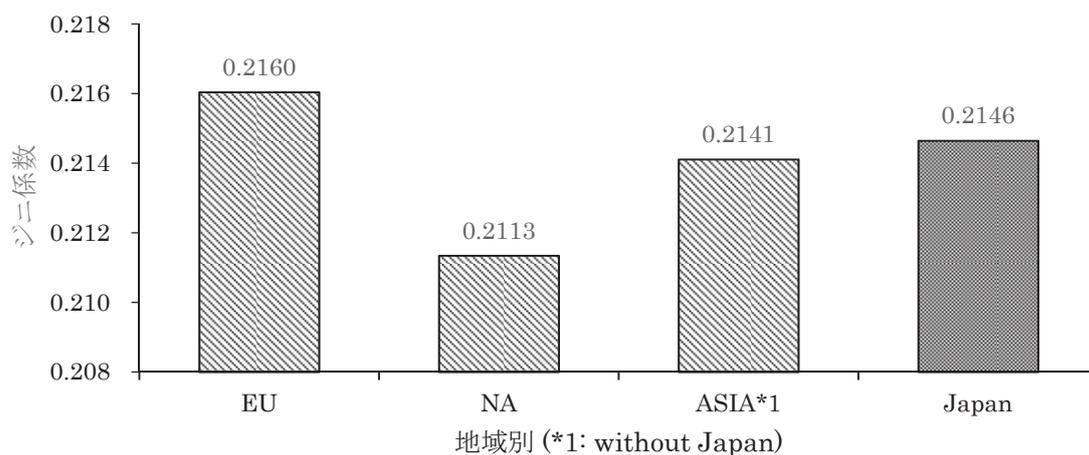
#1: 上側：傾き、下側：切片、\*\*  $R^2 \geq 0.25$  ( $|R| \geq 0.5$ )、\*  $R^2 \geq 0.09$  ( $|R| \geq 0.3$ )

上記の表では、Australia、Canada、Russiaにおいて、OLS (Ordinary Least Squares: 最小二乗法) の決定係数が有意な結果が得られなかった。下図は、これら3国のジニ係数の年次変化を示したものである。



次に、分析で用いた15ヶ国をEU、NA、Asia、そしてJapanに分類して地域ごとの特徴をみた。下図は、MATHEMATICS分野における異分野融合度の地域別比較のグラフである。EUが最も高く0.2160、次いでAsiaの0.2141、そして、NAの0.2113である。Japanは、Asiaの値に近いことが示されている。

異分野融合度の地域別比較 MATHEMATICS (2007-2014の平均)



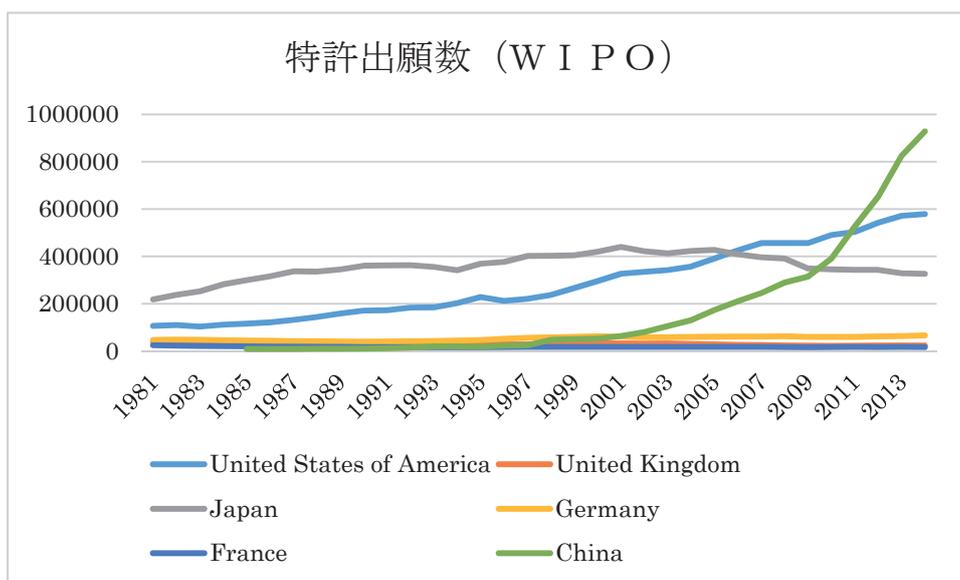
## 5. 数学関連特許の動向

本節では、科学技術の産業への応用を、特許出願の視点から概観する。

### 5.1. WIPO および JPlatPat のデータベースを用いたキーワード検索

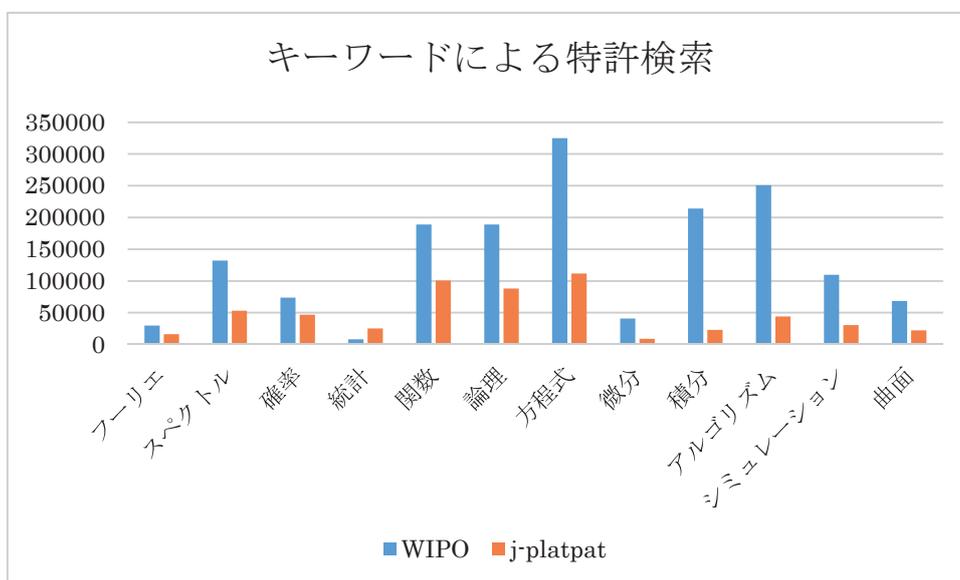
#### (1) 国別の特許数の年次変化

次のグラフは世界知的所有権機関 (World Intellectual Property Organization、WIPO) のデータベースによる6カ国 (米、英、中、仏、独、日) の特許出願数の年次変化を示している。もっとも急激な伸びを示しているのが中国であり、アメリカも順調に増加している。これに対して日本の出願数は2000年ごろに頭打ちになり、最近では減少傾向にある。



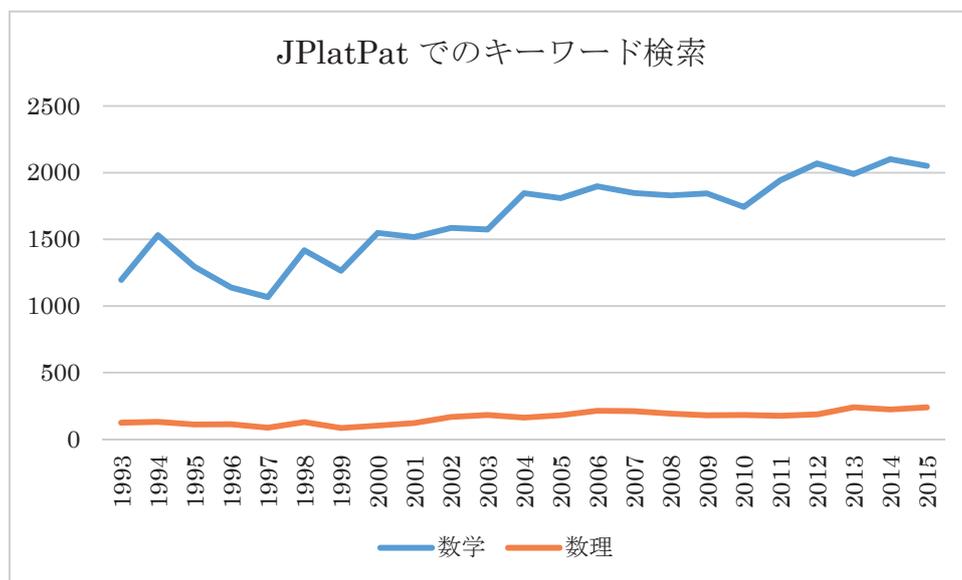
## (2) キーワード別出願数

WIPO および特許情報プラットフォーム (Japan Platform for Patent Information、JPlatPat) を用いた簡易検索により、数学関係のキーワードを含む特許・実用新案中の数を調べたものが次のグラフである。



## 5.2. キーワードを含む特許の年次変化

JPlatPat を用い、特許・実用新案の公開特許公報に含まれる数学および数理をキーワードとするものの数の年次変化を示したものが次のグラフである。どちらのキーワードを含むものも振動しつつも年々増加する傾向にあることがわかる。



今回、学術雑誌の学際研究特集号の調査結果などから、これまでも数学・数理科学と融合研究が進んでいると思われていた生物学・物理学だけでなく、人文・社会学との融合研究も増加傾向であることがわかった。

これは応用数学と人文・社会学との分野横断的共同研究について今後も注目する必要があることを示唆している。

異分野融合研究の動向を把握することが困難である主な理由として研究成果のインパクト（引用数）のような客観的な指標、基準が完全には確立されていないことがある。さらには数学・数理科学の研究成果に対する評価、波及効果は短期的には現れにくいことも他分野との関連を計量的に調べることを難しくしている。今回の調査でも既存の（数学を含む）学際的分野の動向調査のみでは全体像を把握することは非常に困難であることがわかった。今後は異分野融合研究の動向を客観的に測るための新たな指標の研究が望まれる。

