

**日本物理学会・物性委員会主催
「エビデンスに基づく研究評価分析についての検討会」**

「計量書誌分析に基づく重点分野分析の事例と展望」

七丈 直弘 2022年6月26日(日)



一橋大学
HITOTSUBASHI UNIVERSITY



政策研究大学院大学
NATIONAL GRADUATE INSTITUTE
FOR POLICY STUDIES

今回の報告の概要

- CSTIエビデンスチームにおいて、研究動向を把握するための手段として、論文書誌情報データベースを利用した解析を行ってきた。
- 本日の話題提供では、論文書誌分析によって可能となった分析の中でも「重点分野分析」を構成する一連の分析・可視化作業に関して紹介する。
- 従来は個別の①研究分野(物理学、化学、生物学、医学等、多くの場合ジャーナル単位で定義される)に基づく分析や、②キーワードに基づく分析、が行われてきたが、①の場合、新興融合分野や特定の小分野についての分析が難しく、②の場合、語の揺らぎや、同意語等の意味的分析を加味することが難しかった。
- 今回報告する分析では共引用分析という、論文の引用情報のみに基づく分析を行っており、従来よりもより細かな分析が可能となった。
- このような分析の概要と事例を紹介し、物性分野での分析可能性について意見をもらいたい。

本日の発表は以下の順で行われる。

- 手法の説明
- 参考事例(量子技術)
- 物性分野の重点分野分析の可能性

※次項以降の内容は政策研究大学院大学が内閣府からの委託事業として2021年度に実施したものの成果の一部を利用しているが、陳述された意見はあくまで発表者個人(七丈)のものである。

全体俯瞰マップ作成手法について

- 本マップでは、データソースとしてDimensions (Digital Science社による論文書誌データベース) を用い、その中に含まれるすべての出版種別 (articles以外に、proceedings、preprintなどを含む) の情報を基に、分野 (Field of Research: FoR) 毎に被引用数で上位10%の論文を対象として可視化を試みている。
- 論文単位では研究の推移を把握しにくいとため、被引用関係に基づく近接性が高い論文集合をクラスターとして定義し、クラスター内の特徴を把握可能とした。被引用関係として共引用関係 (K50と呼ばれる、類似度指標を用いている) を用い、ネットワーク構造を基にしたクラスタリングアルゴリズム (Leiden Algorithm) を用いて論文集合を作成している。閲覧者による共引用構造の把握を用意するため、ネットワーク分散表現の手法を用いて2次元空間に埋め込みを行っている。埋め込みの結果、関係性が高いもの同士が近くに位置し、関係性が無い、あるいは低いもの同士が遠くに配置される傾向となっている。
- 以上で作成されたマップに対して以下の情報を付与した可視化を作成した：
 - 書誌データベース (Dimensions) から算出可能される値
 - 特許データベース (Dimensions) から算出される値

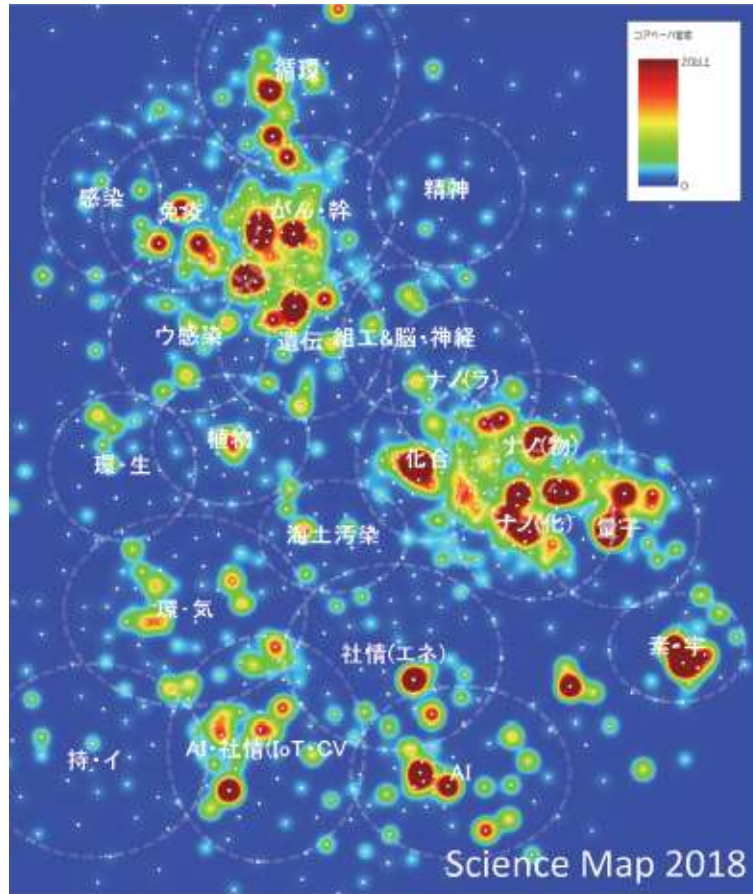
サイエンスマップと本マップの相違点

サイエンスマップ作成手法の基本部分を踏襲しながら、対象範囲を広げることにより、より広範に科学活動を把握可能なマップの作成を目指している。また、e-CSTIによって把握された各種データをマップ上に表示可能としている。

	サイエンスマップ2018	本マップ
使用したデータ	ESI (Clarivate)	Dimensions (Digital Science)
対象文献種別	Article, Review	Article (Reviewを含む), Chapter, Proceeding, Preprint, Monograph, Edited Book
使用した文献の特徴	Top 1% (ESI), 2014～2018年	Top 10%, 2015～2019年
近接性の算出	共引用度	補正後共引用度
クラスタリング手法	2段階 (リサーチフロント→研究領域) →902個のクラスターに分割	2段階 (Leidenアルゴリズムによる) →1,524個のクラスター (うち1,076を使用) →12,445個のサブクラスターに分割
可視化手法	ScienceMap visualizer (経年変化を考慮したspring model)	グラフ分散表現とt-SNEの組み合わせ
規模(可視化対象論文数)	28,824件 (コアペーパーのみがネットワークに貢献するためその数)	2,224,645件 (サイエンスマップ2018の約77倍)

作成されたマップとサイエンスマップとの対比(論文単位マップ)

サイエンス・マップ2018



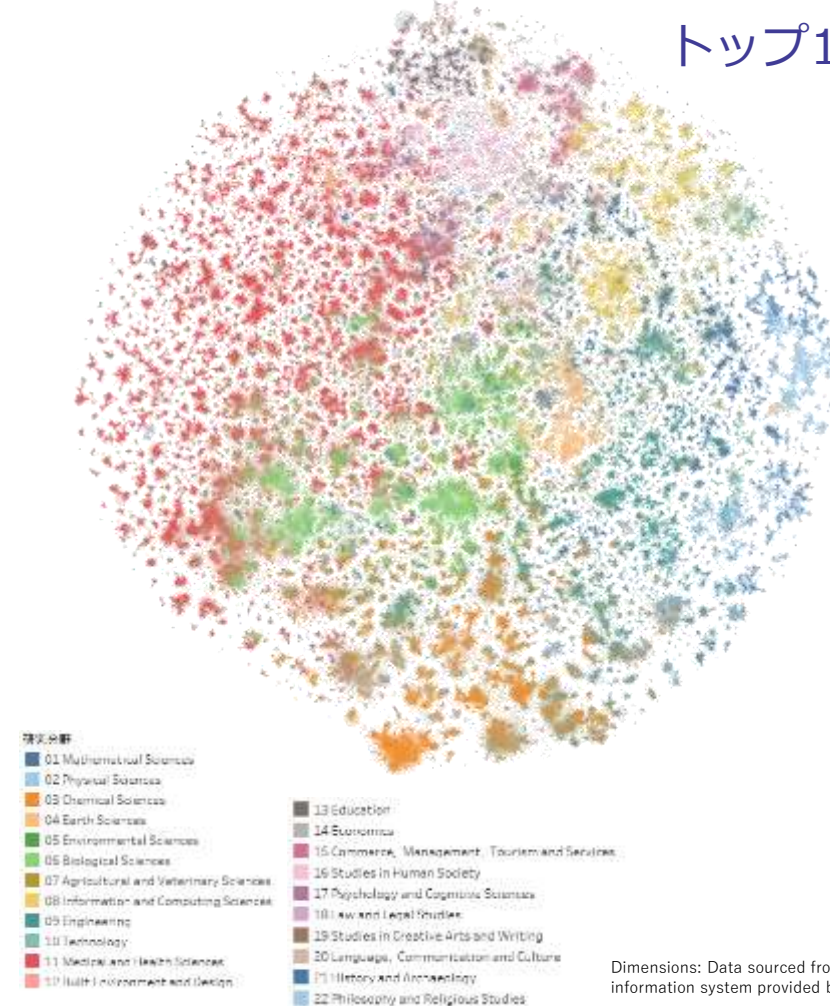
文部科学省科学技術・学術政策研究所 (2020) 『サイエンスマップ 2018—論文データベース分析(2013-2018 年)による注目される研究領域の動向調査—』 p.3 NISTEP-NR187-Full より。

論文単位マップ

▷出版種別 (articleのみ)

▷円サイズ: 被引用数

トップ10%論文



Dimensions: Data sourced from Dimensions, an inter-linked research information system provided by Digital Science (<https://www.dimensions.ai>).

マップ作成の手順

サイエンスマップ作成手法の基本部分を踏襲しながら、対象範囲を広げることにより、より広範に科学活動を把握可能なマップの作成を目指した。

被引用関係の強弱(同じ論文から同時に引用を受ける論文の間には、扱うテーマの類似性など内容面での近接性が存在すると仮定して関係性の強弱を定義した。共引用関係と呼ばれる)

論文間の関係を2次元空間に射影し、関係性が強いものが近くに位置し、関係性が弱いものが遠くに位置するようなレイアウトを試みた。

その結果、類似した研究テーマに属する論文が近くに位置するような2次元レイアウトが得られた。

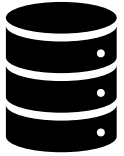
ネットワーククラスタリングにより関連性の高い論文集合を**クラスター**とし、同一クラスターに属する論文集合をさらにネットワーククラスタリングすることで**サブクラスター**を作成し、分析の単位とした。

マップ作成の流れ

取扱注意・再配布不可

Dimensions: Data sourced from Dimensions, an inter-linked research information system provided by Digital Science (<https://www.dimensions.ai>).

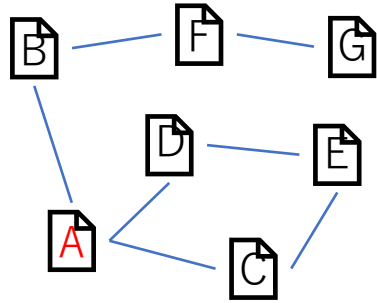
① 書誌データの整備



Dimensions

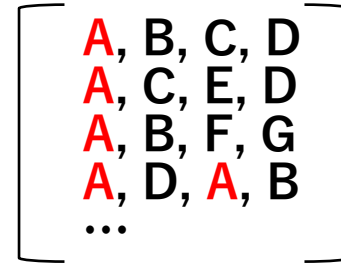
2015 - 2019の全てに関して、
Top 10%論文を抽出

② 論文ネットワークの作成



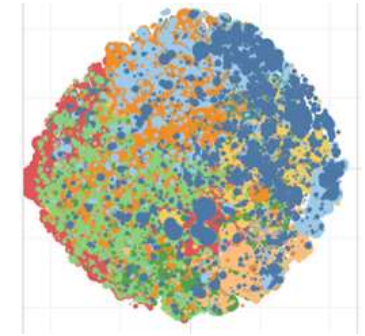
共引用関係による
論文ネットワークの作成

③ ネットワークのベクトル化



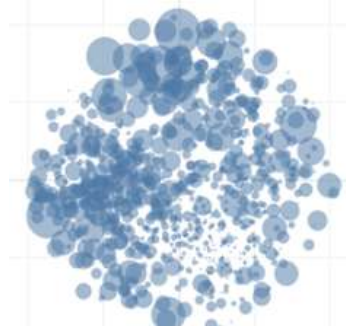
ネットワーク分散表現で
ネットワーク構造を
高次元ベクトルに変換

④ 2次元平面への配置



t-SNEアルゴリズムで
高次元ベクトルを二次元化

⑤ 論文のクラスタリング



ネットワーククラスタリング
アルゴリズムによる
クラスタリングを行い、
論文から論文クラスターに単位を集約

⑥ 2次元平面への再配置



論文クラスター内の論文の座標平
均を取ることで、論文クラスター
マップの完成

⑦ 各種指標の計算とオーバーレイ



特許から論文への引用の情報など
をノードの大きさや色で表現した
マップの完成

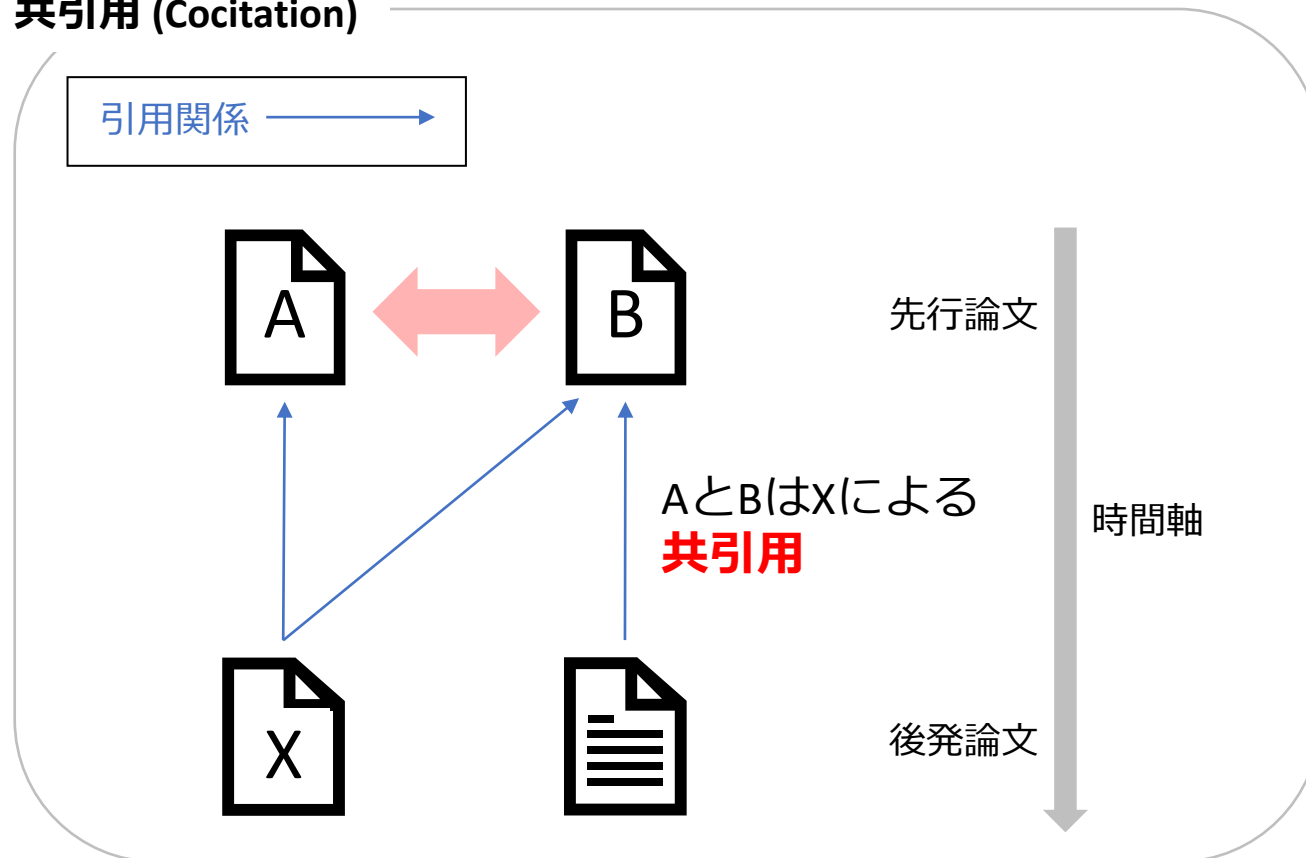
論文単位だけではなく
領域や研究者単位の
情報との接続

② 論文ネットワークの作成 _ 共引用とは

共引用とは、ある論文Aと別の論文Bが後発の論文Xに同時に引用されていることをもってAとBの共通性を見出す論文ネットワークの計測方法である

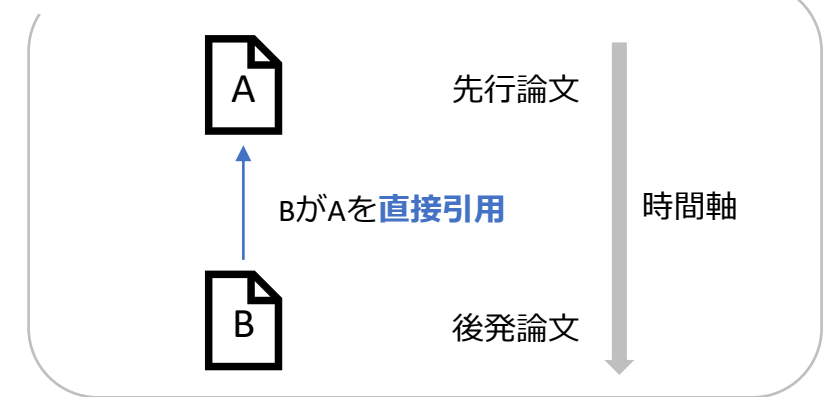
今回採用した方法

共引用 (Cocitation)

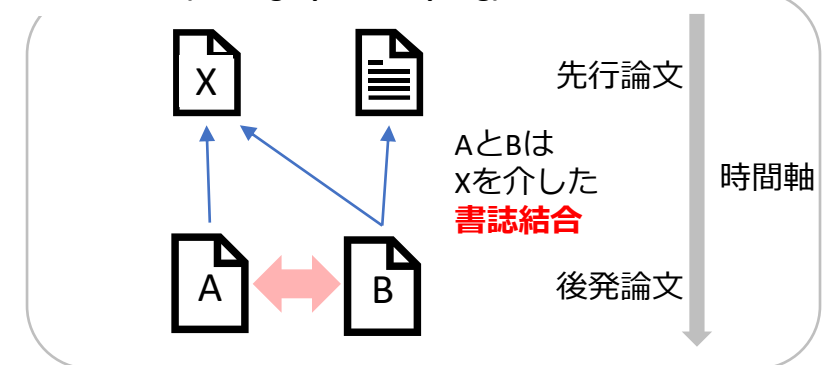


【参考】 共引用以外の方法

直接引用 (Direct Citation)

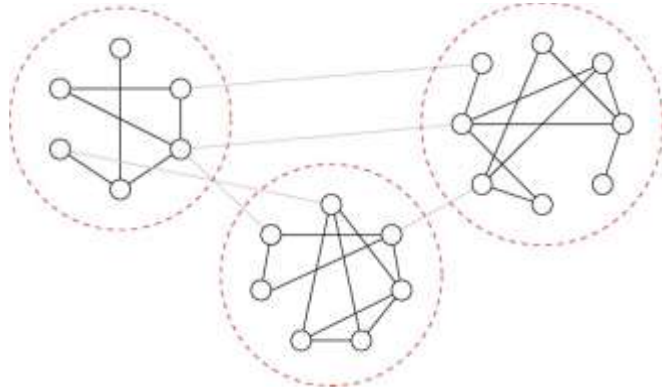


書誌結合 (Bibliographic Coupling)



⑤ 論文のクラスタリング _ モジュラリティクラスタリング

大規模ネットワークのクラスタリングは「コミュニティ検出」問題として、一般的にはモジュラリティ指標によって定量化される



ネットワークにおけるコミュニティ

モジュラリティ指標によるコミュニティの検出

今回、論文単位のネットワークのクラスタリングを適用し、論文の密な「かたまり」から論文小領域を見出す試みは、ネットワーク分析においては、「コミュニティ検出」問題として一般化されている。

ここで、ネットワークを複数のコミュニティ（クラスタ）に分割してラベルを付けるということを行った場合に、その分割の評価指標が問題になる。Newman(2004)によって提案された評価指標がモジュラリティである。モジュラリティは「コミュニティ内のノード同士の結びつきは密であり、コミュニティ外のノード同士の結びつきは疎である」という概念を以下の式によって定量化する。

$$Q = \sum_i (e_{ii} - a_i^2) = \text{Tr } e - \|e^2\|$$

ただし、

$$a_i = \sum_j e_{ij}$$

ここで、 Q はモジュラリティ、 i はコミュニティ番号、ネットワークは k 個のコミュニティを持ち、（元のノード単位ではなく）コミュニティ単位のネットワークの行列表現（隣接行列）を $k \times k$ の対称行列を e とする。 e の対角要素 e_{ii} はコミュニティ内部のエッジ数、 a_i は隣接行列の行もしくは列の合計値、 $\text{Tr } e$ は e のトレース（対角成分の合計値）、 $\|x\|$ は行列 x の要素の合計値、である。

この式は、「あるクラスタリング結果においてクラスタ i に含まれるエッジ数（割合）」から「エッジをランダム生成したグラフにおいてクラスタ i に含まれるエッジ数（割合）」を全てのクラスタに関して合計したものをモジュラリティと定義し、これを最大化するクラスタリングを探索することを意味している。

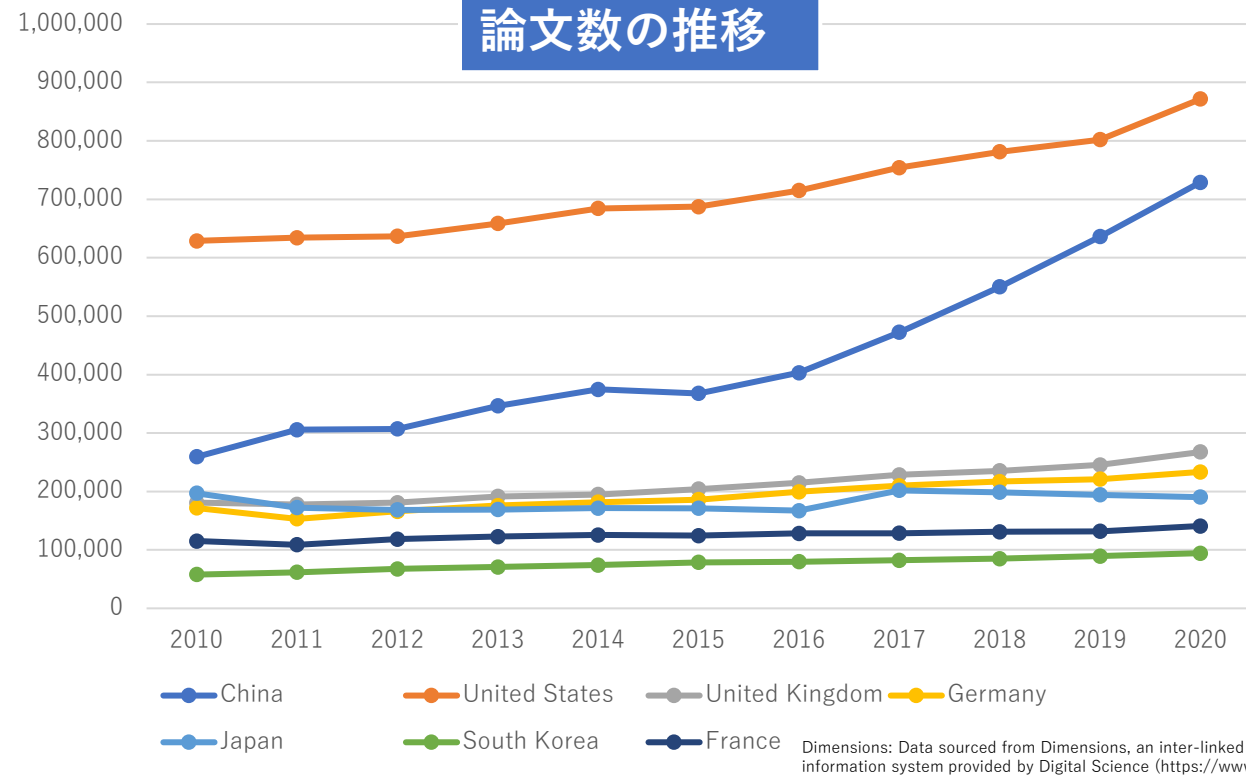
参考文献・図の出典：

Newman, M.E.J., & Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *PHYSICAL REVIEW E*, 69(2), 026113

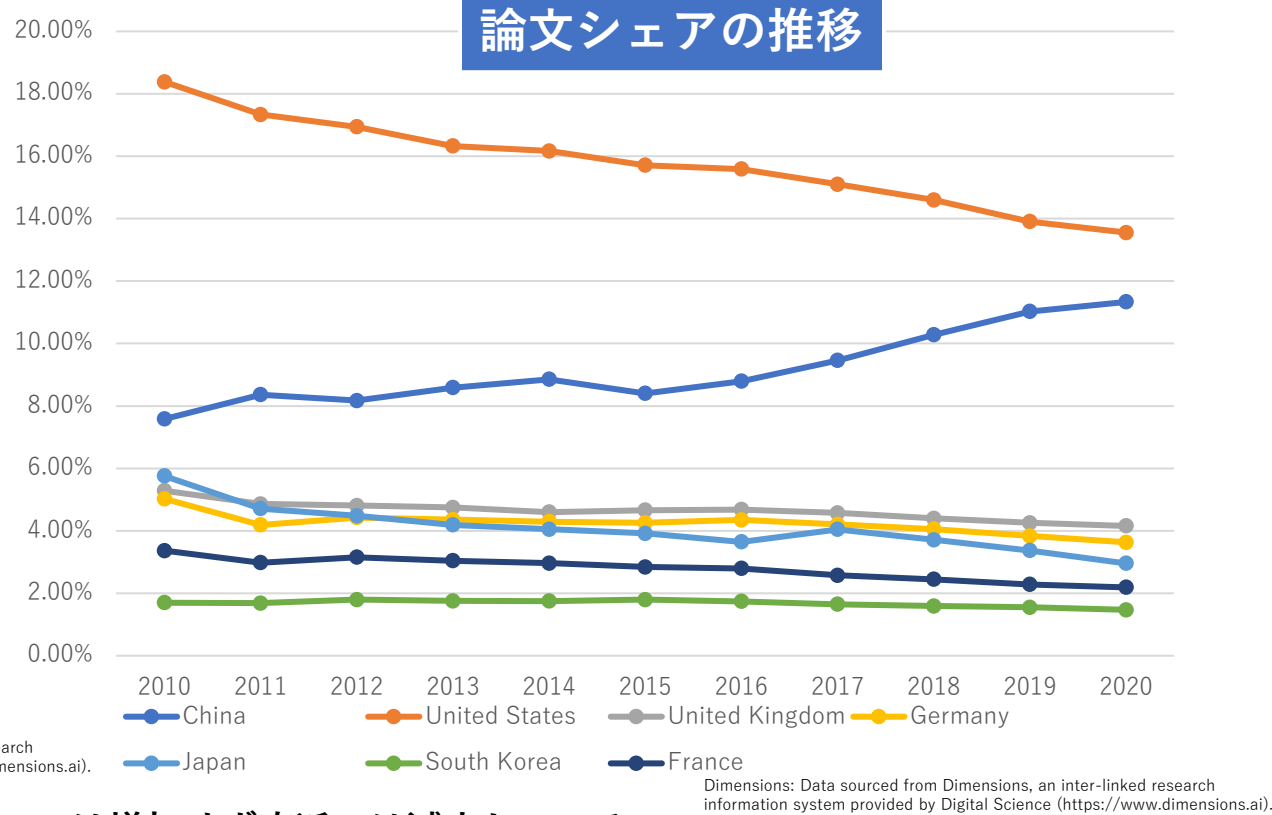
日本の研究力の世界における位置づけの把握

論文書誌情報には著者の所属機関の住所が含まれており、その情報から著者所属国を知ることが可能である。(国籍についての記述はなく把握不可能。そのため、外国に移籍した研究者は著作の時点の所在の国に所属するものとして扱われる)日本を住所とする研究者が著者に1名でも含まれるような論文の割合は、4%程度である。対象となる分野において、日本著者の論文率がこれより大きい場合には「日本の存在感が高い」と捉えることができるのではないかと。本資料の中で以下の図のみTop 10%論文でなく、全論文を対象とした分析である。

論文数の推移



論文シェアの推移

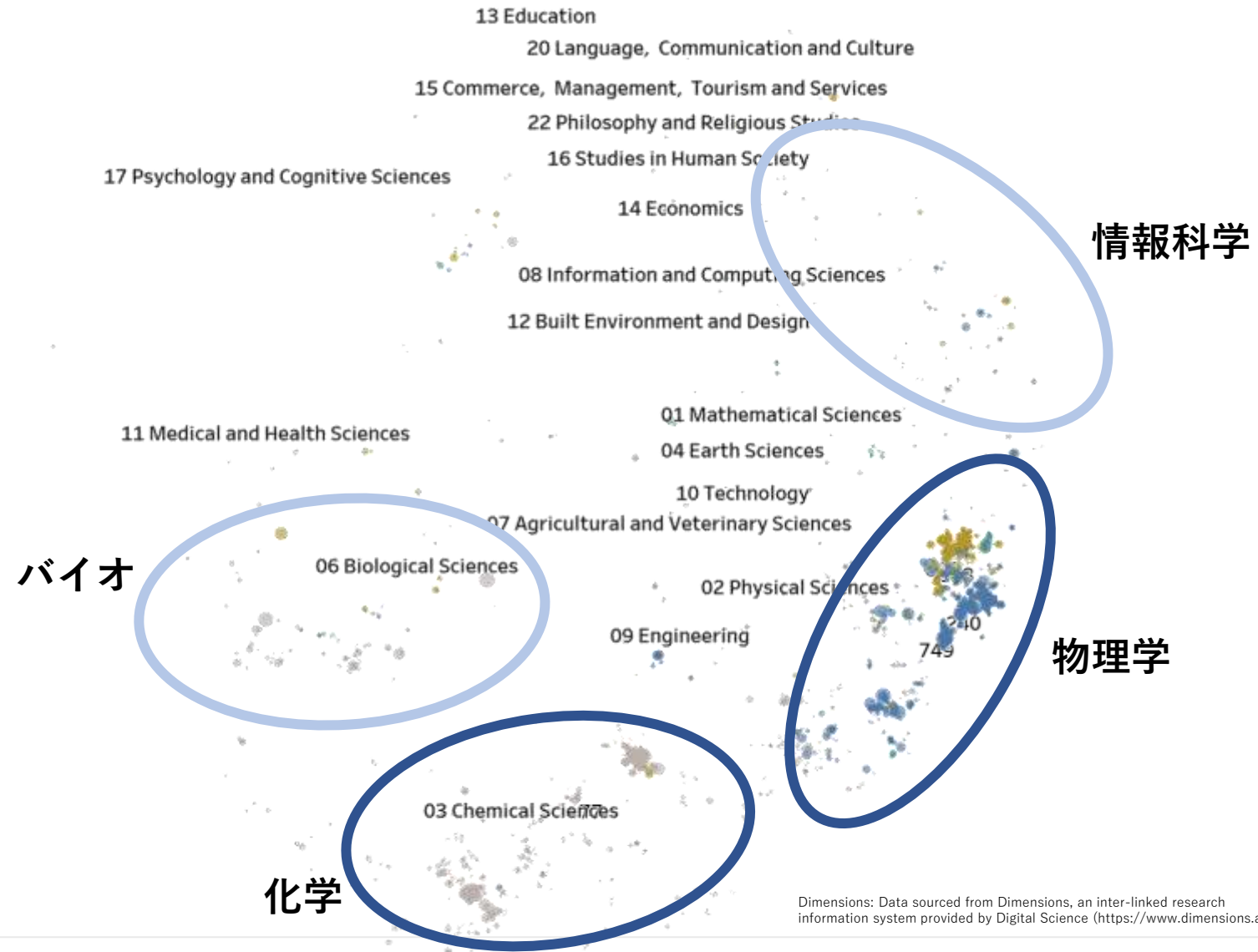


世界の論文数は増加傾向にあるが、主要国の中で日本および韓国については増加せず直近では減少している。
日本の論文シェアは2010年に5.6%だったが、2020年には3.0%まで低下している。2010～2020年の間の平均では4.1%となっている。

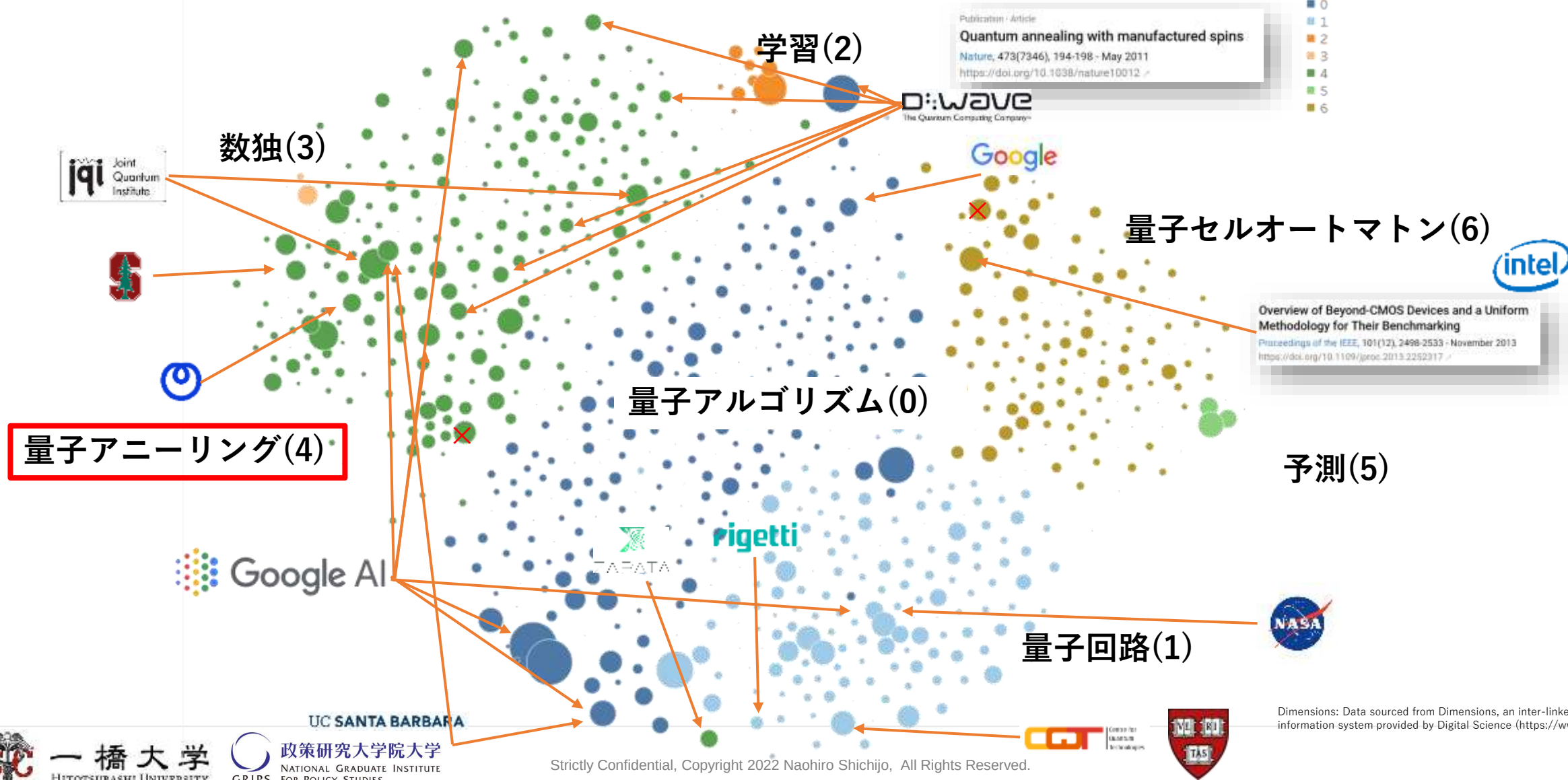
参考事例(量子技術)

量子技術関連クラスター候補である802, 77, 388, 749, 240の位置

物理学と科学の周辺に分布している。情報科学関連と生物学関連にも少数分布している。



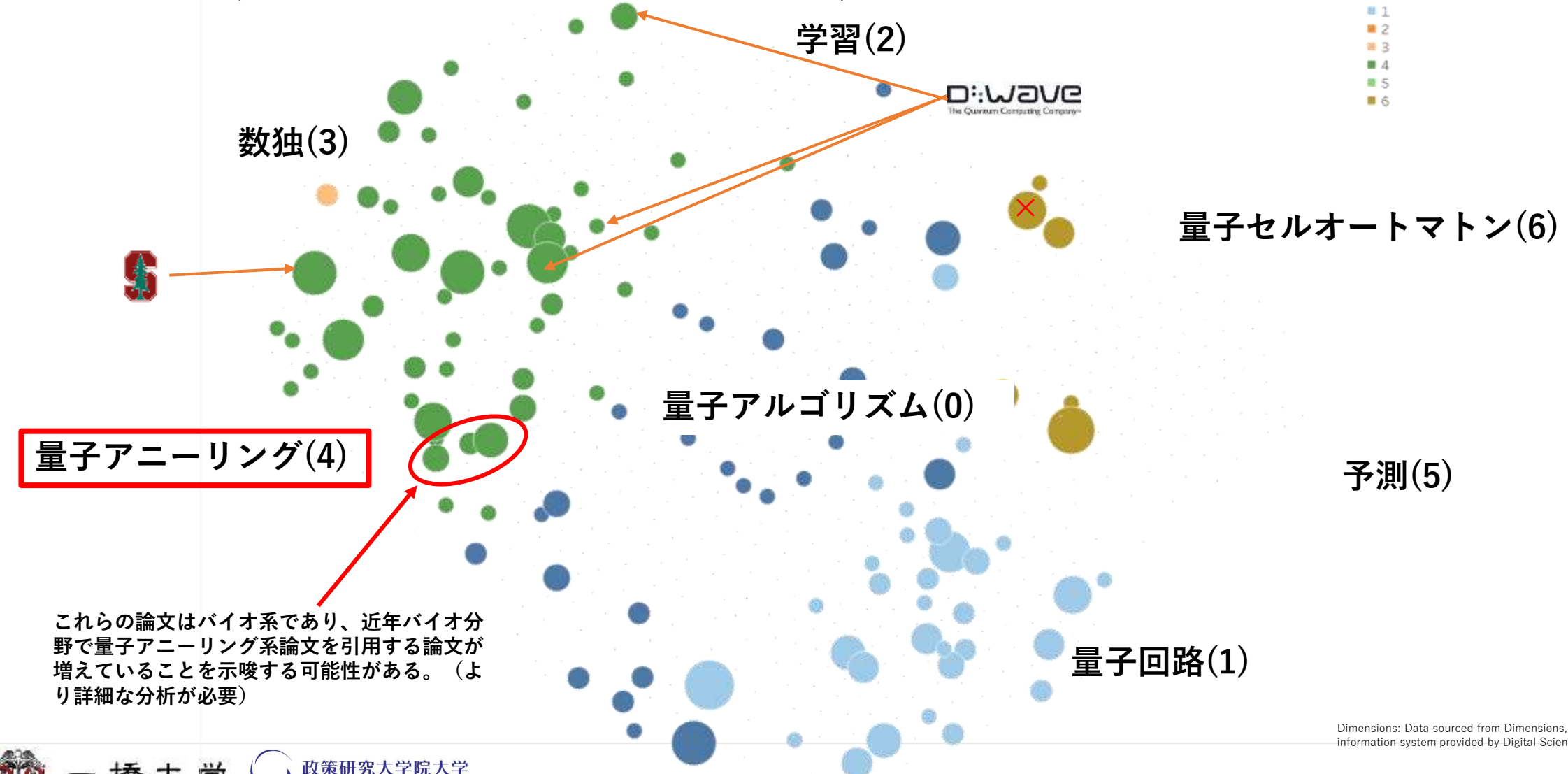
表示色



クラスター388（量子コンピュータ）の論文マップ（特許からの被引用数）

特許からの被引用には論文出版から時間がかかるため、最近の論文ほど引用されにくい傾向にある。そのため、被引用数は全体的に少ない。その中で、UCSBによるSurface codes: Towards practical large-scale quantum computation [Physical Review A](#), 86(3), 032324 - September 2012 は最多の被引用件数(12件...Web版Dimensionsによると最新の値は17件)である。

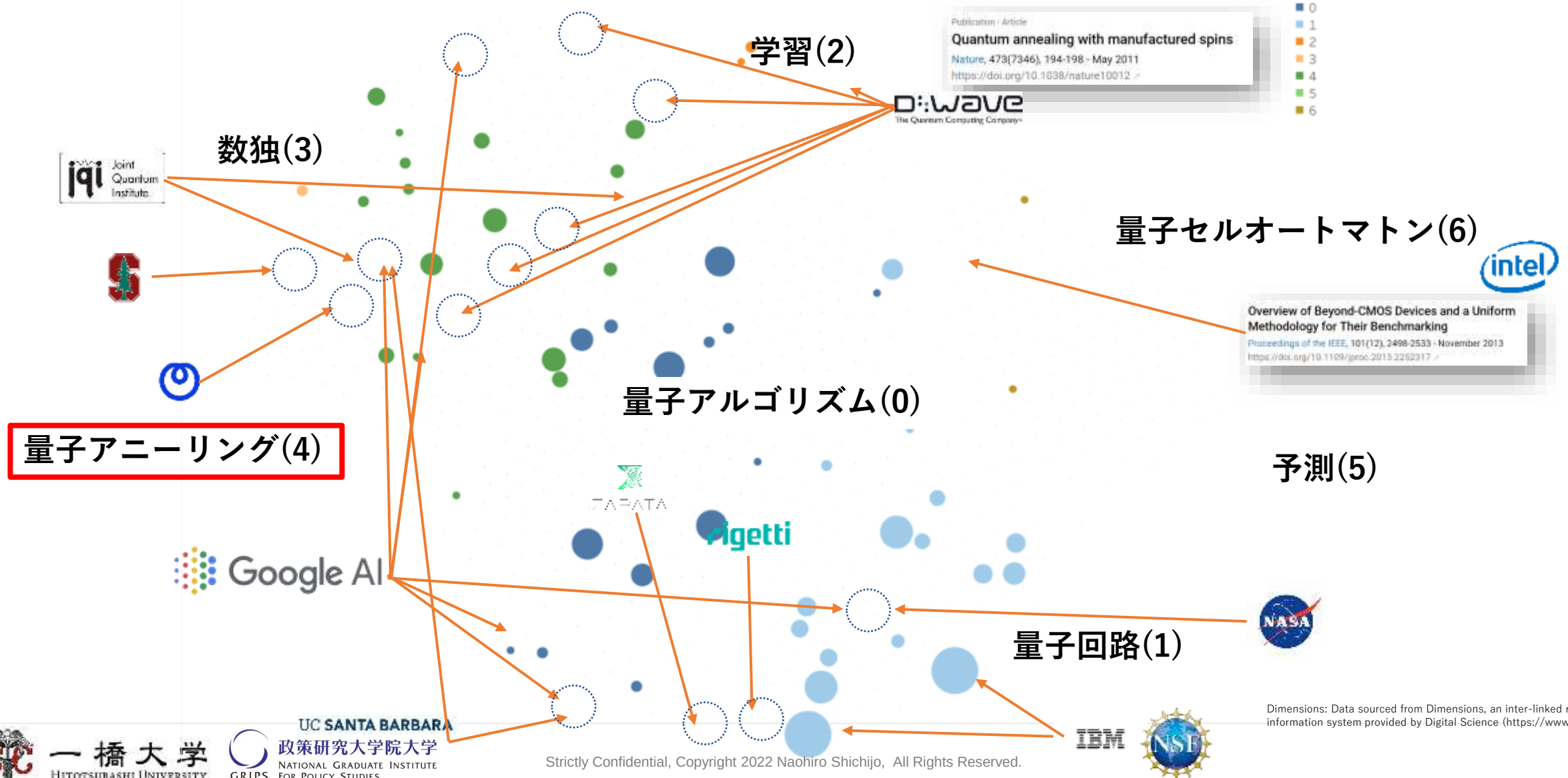
表示色
0
1
2
3
4
5
6



Dimensions: Data sourced from Dimensions, an inter-linked research information system provided by Digital Science (<https://www.dimensions.ai>).

クラスター388（量子コンピュータ）の論文マップ（特許発明人である著者による論文）

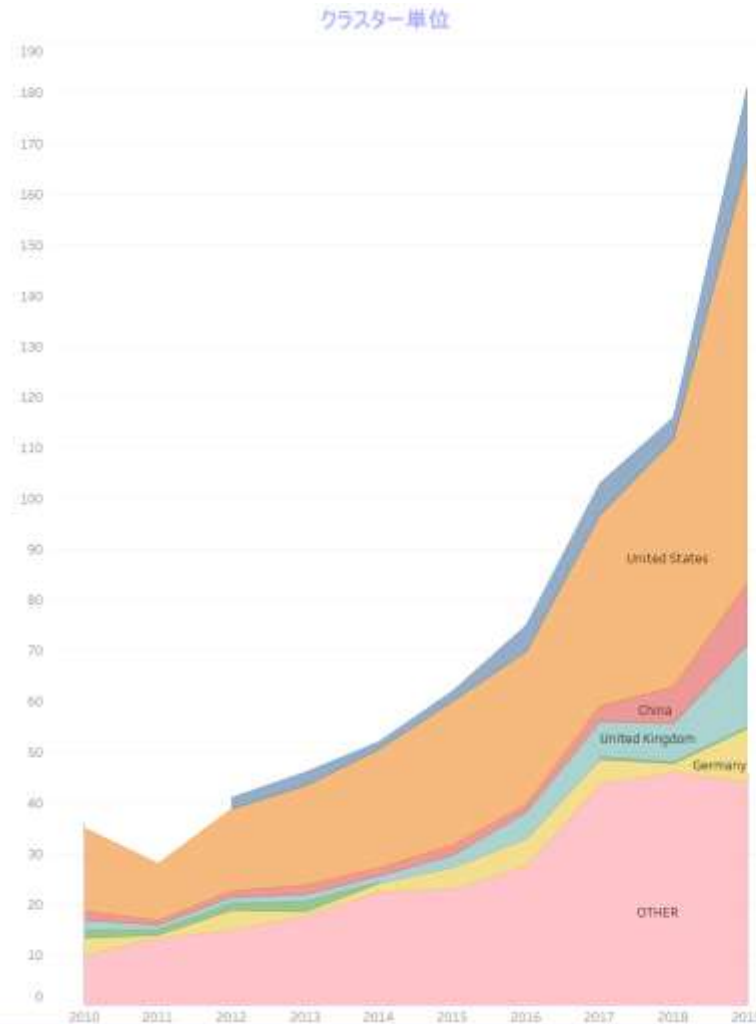
企業（D-WaveやGoogle AIなど）による論文で被引用が極端に多いものがあつたが、その著者の多くが必ずしも特許発明記録を有していないことから、企業研究者としてのキャリアを有するのではなく、大学や基礎研究から転向した人物ではないかと思われる。



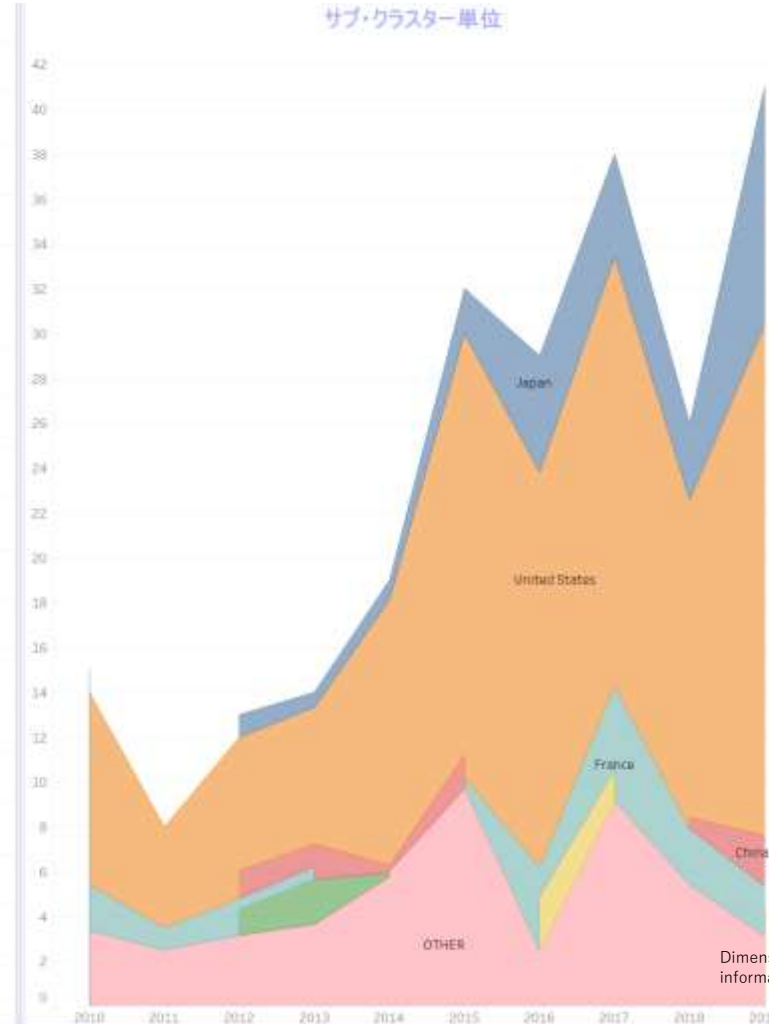
388-4 量子アニーリング

クラスター388（量子コンピュータ）は論文数が急速に増加しており、388-4も同様の傾向である。388において中国の論文数は低く、米国の論文数が多い。388-4（量子アニーリング）について日本の論文（Top 10%論文）が2015年以降に増加している。

クラスター388の論文数推移



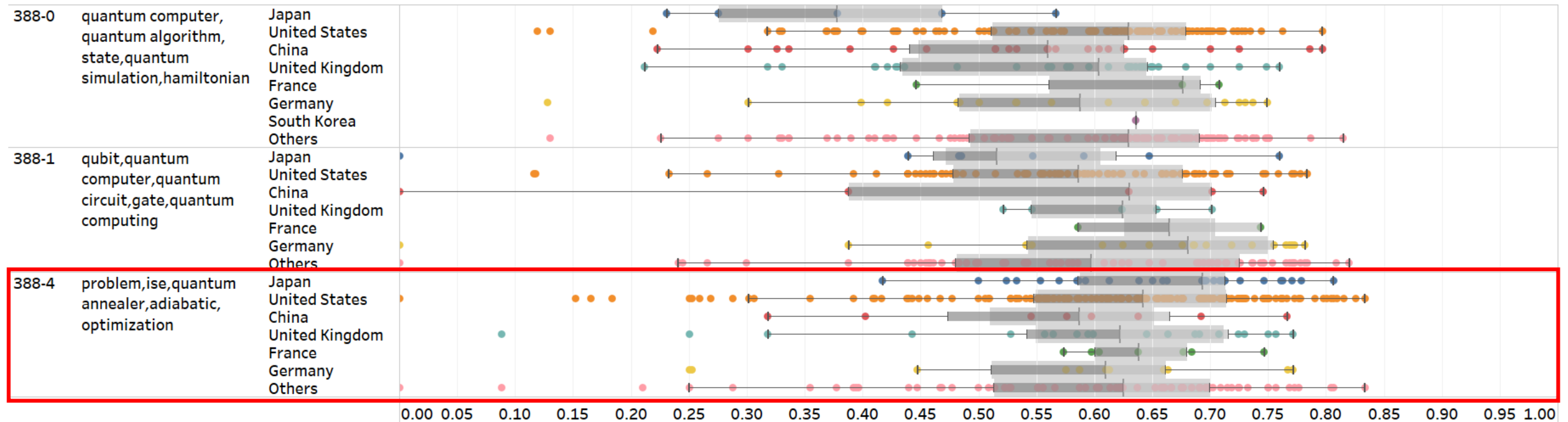
サブクラスター4の論文数推移



388（量子コンピュータ）論文が引用する論文の分野分布（融合度）の比較

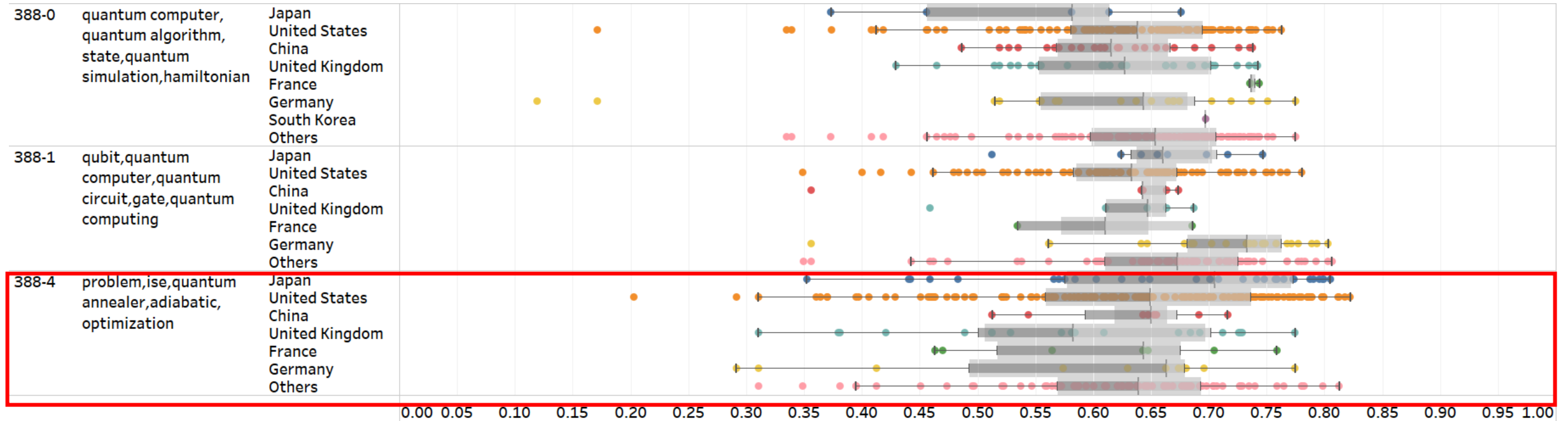
注目するサブクラスターに属する論文が引用している論文の分野（FoR）の分布を比較した。分野シェアのハーフィンダル指数であり、大きい値であるほど多様な分野の論文を引用する、より融合的な内容であることを示唆する。

サブクラスター毎に、国ごとに傾向が大きく異なっている。388-4（量子アニーリング）について、日本論文の融合度は他国よりも高い。



388（量子コンピュータ）論文を引用する論文の分野分布(波及度)の比較

注目するサブクラスターに属する論文を引用している論文の分野 (FoR) の分布を比較した。前に示した「融合度」と近い概念であるが、「融合度」の算出のベースとなる引用文献は著者自身で制御可能であるのに対して、被引用文献は(自己引用以外)著者が制御不可能であることから、より客観性の高い融合度指標として知られる。大きい値であるほど多様な分野の論文を引用する、より幅広い分野に影響を与えていることを示唆する。388-4（量子アニーリング）について、融合度同様に波及度も他国よりも高い。

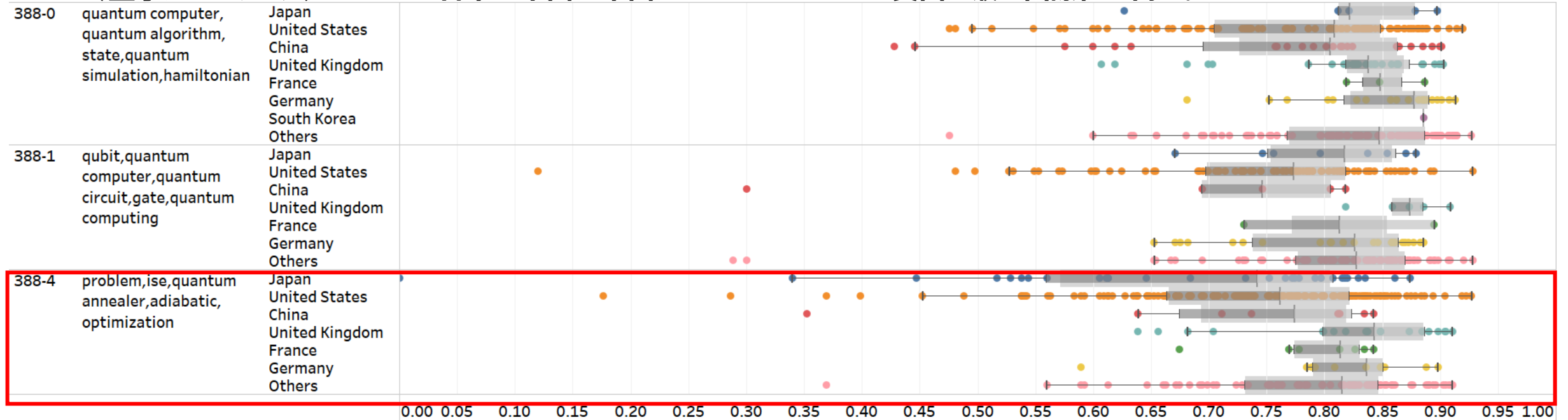


388（量子コンピュータ）引用先の国際性の比較

注目するサブクラスターに属する論文の各々を引用している論文の著者の国際性を算出した。（引用文献の著者集合における所属国のハーフィンダール指数であり、多いほど国際的に引用されていることを示す）

当該クラスターの国際性の差は国ごとの差が大きいサブクラスターとそうでないサブクラスターに分かれる。

388-4（量子アニーリング）については日本<米国<中国<フランス<ドイツ<英国の順に国際性が高い。

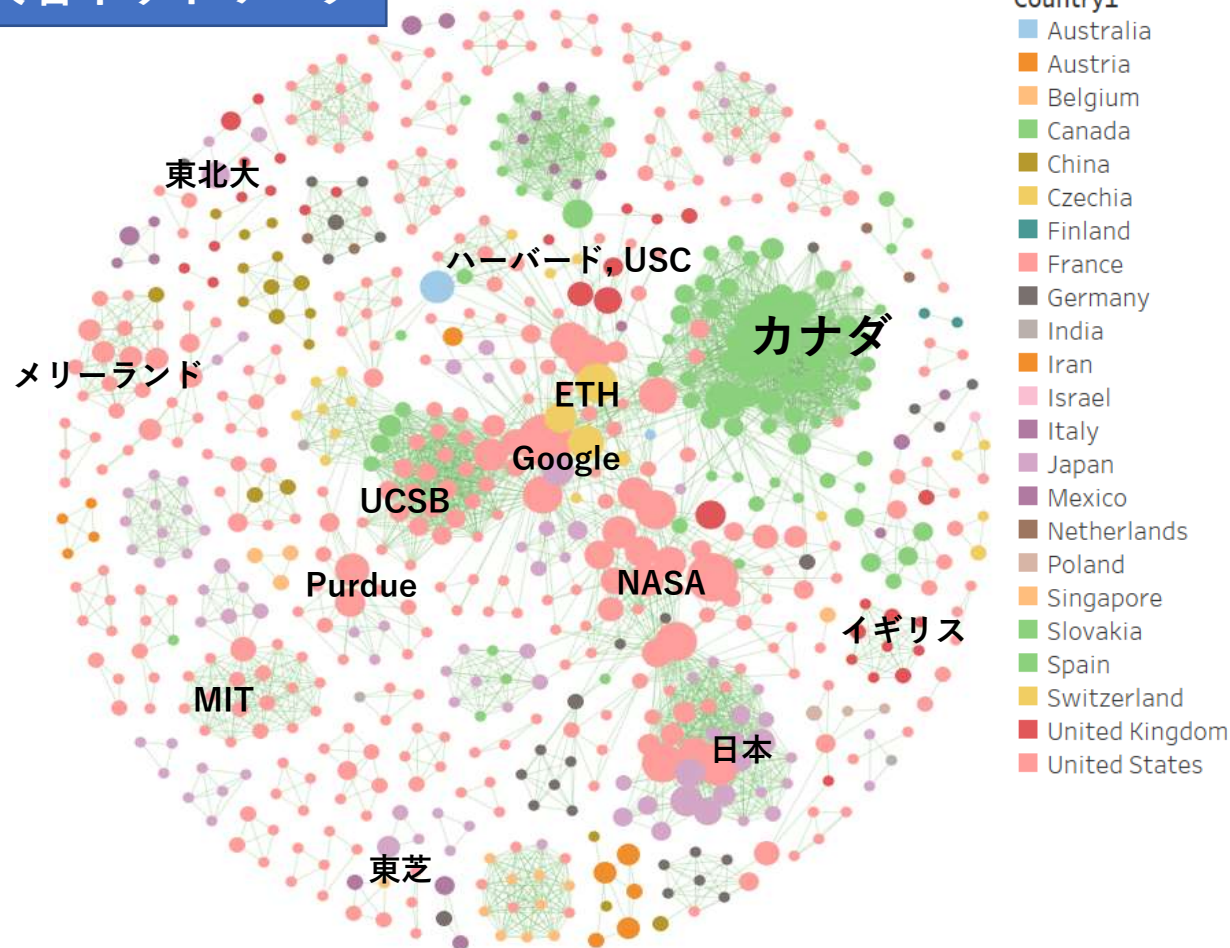


Dimensions: Data sourced from Dimensions, an inter-linked research information system provided by Digital Science (<https://www.dimensions.ai>).

388-4 量子アニーリング

カナダの最大クラスタはD-Wave SystemsでありGoogleとの共著を通じてGoogleクラスターに通じている。GoogleはUCSBやNASAと共同プロジェクトを通じて共著関係があり、NASAとはStanfordが共著関係にあるため、Stanfordを通じ日本の研究チーム (NTT, NII, 東大など) とつながっている。これらとは別に、メリーランド大、パーデュ大、MIT、イギリス (ケンブリッジ+サザンプトン大)、東北大、東芝のクラスタがある。

共著ネットワーク



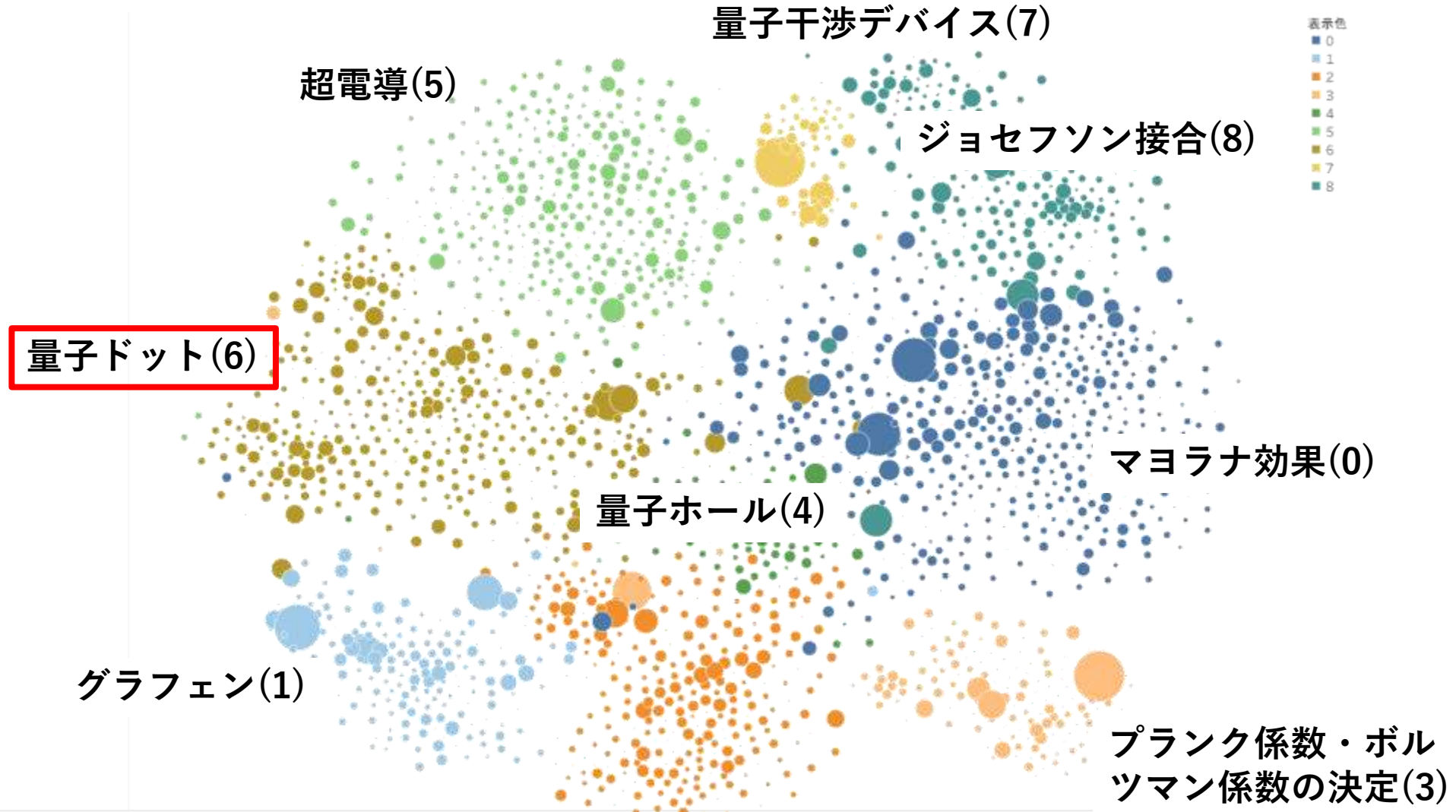
該当文献 (被引用数上位)

Title	Journal Title	Year	Cnt Cit.	Cnt Pat.
Quantum simulation of frustrated Ising spins with tr...	Nature	2010	549	0
Proposal for an all-spin logic device with built-in me...	Nature Nanotechnology	2010	521	7
Evidence for quantum annealing with more than one	Nature Physics	2014	401	1
Quantum versus Classical Correlations in Gaussian S...	Physical Review Letters	2010	349	0
RosettaScripts: A Scripting Language Interface to th...	PLoS ONE	2011	303	5
Defining and detecting quantum speedup	Science	2014	302	1
Adiabatic quantum computation	Reviews of Modern Physics	2018	298	0
Emergence and Frustration of Magnetism with Varia...	Science	2013	287	0
Deep Mutual Learning	NULL	2018	263	0
Digitized adiabatic quantum computing with a super...	Nature	2016	259	6
A fully programmable 100-spin coherent Ising machi...	Science	2016	237	8
What is the Computational Value of Finite-Range Tia...	Physical Review X	2016	224	0
Schrieffer-Wolff transformation for quantum many...	Annals of Physics	2011	216	0
A coherent Ising machine for 2500-node optimizatio...	Science	2016	215	2
Neural Dynamics as Sampling: A Model for Stochastic...	PLoS Computational Biology	2011	201	0
Benchmarking of Beyond-CMOS Exploratory Devices	IEEE Journal on Explorator...	2015	195	1
Quantum Chemistry in the Age of Quantum Computi...	Chemical Reviews	2019	185	0
Synonymous Codons Direct Cotranslational Folding t...	Molecular Cell	2016	185	0
Architectural Considerations in the Design of a Super...	IEEE Transactions on Appli...	2014	183	8
Entanglement in a Quantum Annealing Processor	Physical Review X	2014	181	0
Computing prime factors with a Josephson phase qu...	Nature Physics	2012	177	3
Sounds of silence: synonymous nucleotides as a key t...	Nucleic Acids Research	2013	173	0
Experimental signature of programmable quantum a...	Nature Communications	2013	170	0
Experimental investigation of an eight-qubit unit cell...	Physical Review B	2010	169	3
Quantum Ising Phases and Transitions in Transverse...	NULL	2013	161	0
Quantum Boltzmann Machine	Physical Review X	2018	160	0
Finding low-energy conformations of lattice protein...	Scientific Reports	2012	157	2
Digital Quantum Simulation of Spin Models with Circ...	Physical Review X	2015	152	2
Thermally assisted quantum annealing of a 16-qubit...	Nature Communications	2013	152	0
Realizing the classical XY Hamiltonian in polariton s...	Nature Materials	2017	149	0
Beyond CMOS computing with spin and polarization	Nature Physics	2018	143	0
Quantum adiabatic Markovian master equations	New Journal of Physics	2012	137	1
Switching of perpendicularly polarized nanomagnets...	Proceedings of the Nationa...	2015	132	1
Observation of topological phenomena in a program...	Nature	2018	128	1
Anderson localization makes adiabatic quantum opti...	Proceedings of the Nationa...	2010	123	1
Quantum Optimization of Fully Connected Spin Glass...	Physical Review X	2015	118	1
A critical analysis of codon optimization in human th...	Trends in Molecular Medici...	2014	113	44
Computational multiqubit tunnelling in programmab...	Nature Communications	2016	109	0
Experimental demonstration of a robust and scalabi...	Physical Review B	2010	108	4
Glassy Chimeras Could Be Blind to Quantum Speedup...	Physical Review X	2014	108	0
The unconstrained binary quadratic programming pr...	Journal of Combinatorial O...	2014	108	0

Dimensions: Data sourced from Dimensions, an inter-linked research information system provided by Digital Science (<https://www.dimensions.ai>).

クラスター749(量子マテリアル・物性)の論文マップ(論文からの被引用数)

量子コンピュータの原理に関する論文が含まれるクラスターである。



クラスター749（量子マテリアル・物性）の論文マップ（論文からの被引用数）

量子コンピュータの原理に関する論文が含まれるクラスターである。

On-chip quantum simulation with superconducting circuits

Nature Physics, 8(4), 292-299 - April 2012
<https://doi.org/10.1038/nphys2251>

Majorana fermions in a tunable semiconductor device

Physical Review B, 81(12), 125318 - March 2010
<https://doi.org/10.1103/physrevb.81.125318>

Generic New Platform for Topological Quantum Computation Using Semiconductor Heterostructures

Physical Review Letters, 104(4), 040502 - January 2010
<https://doi.org/10.1103/physrevlett.104.040502>

One-Dimensional Electrical Contact to a Two-Dimensional Material

Science, 342(6158), 614-617 - October 2013
<https://doi.org/10.1126/science.1244358>

Electronic transport in two-dimensional graphene

Reviews of Modern Physics, 83(2), 407-470 - January 2011
<https://doi.org/10.1103/revmodphys.83.407>

Graphene photodetectors for high-speed optical communications

Nature Photonics, 4(5), 297-301 - March 2010
<https://doi.org/10.1038/nphoton.2010.40>

Signatures of Majorana Fermions in Hybrid Superconductor-Semiconductor Nanowire Devices

Science, 336(6084), 1003-1007 - April 2012
<https://doi.org/10.1126/science.1222360>

Majorana Fermions and a Topological Phase Transition in Semiconductor-Superconductor Heterostructures

Physical Review Letters, 105(7), 077001 - August 2010
<https://doi.org/10.1103/physrevlett.105.077001>

Helical Liquids and Majorana Bound States in Quantum Wires

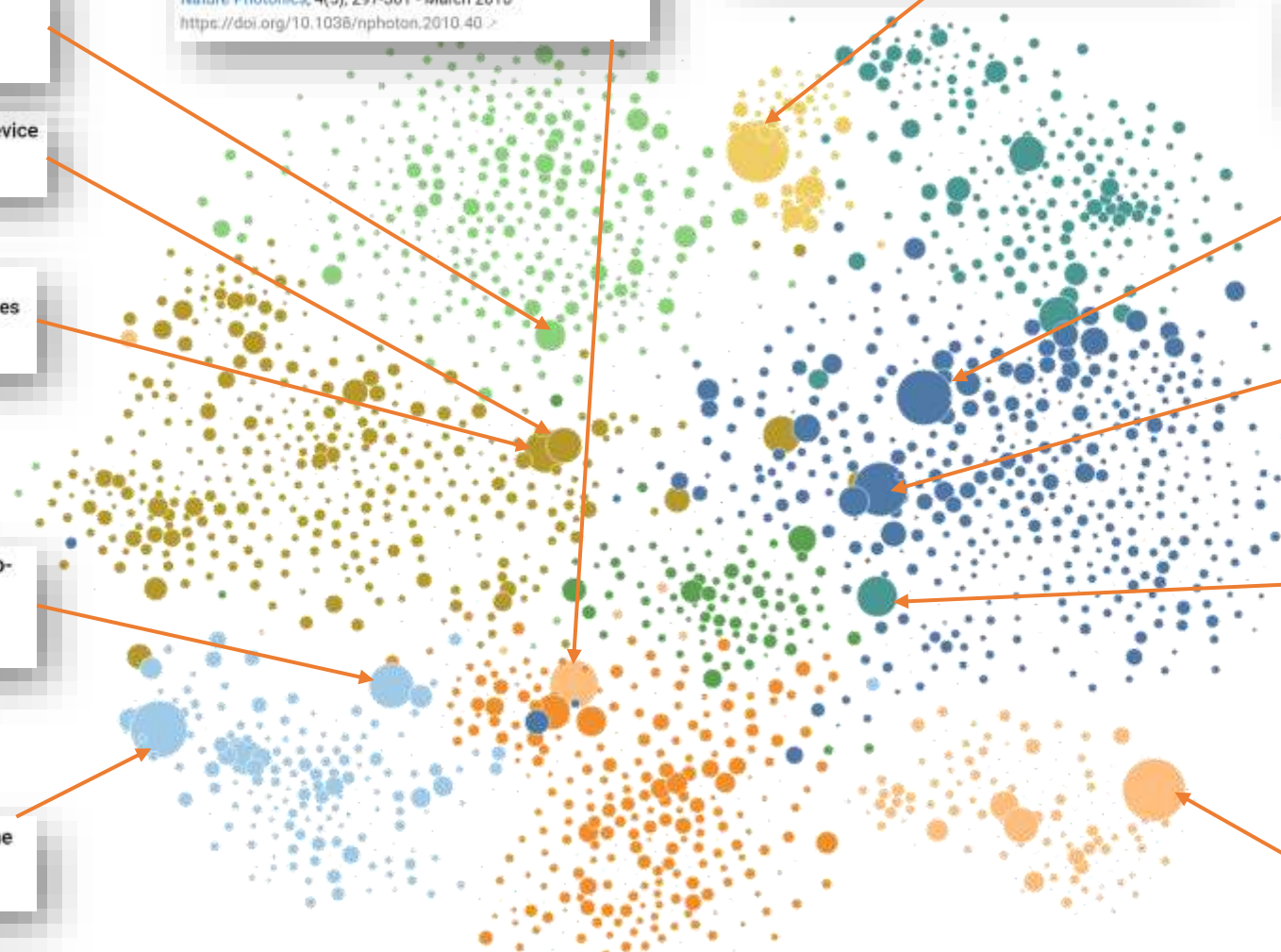
Physical Review Letters, 105(17), 177002 - October 2010
<https://doi.org/10.1103/physrevlett.105.177002>

Anomalous Zero-Bias Conductance Peak in a Nb-InSb Nanowire-Nb Hybrid Device

Nano Letters, 12(12), 6414-6419 - November 2012
<https://doi.org/10.1021/nl303758w>

Cavity optomechanics

Reviews of Modern Physics, 86(4), 1391-1452 - October 2014
<https://doi.org/10.1103/revmodphys.86.1391>

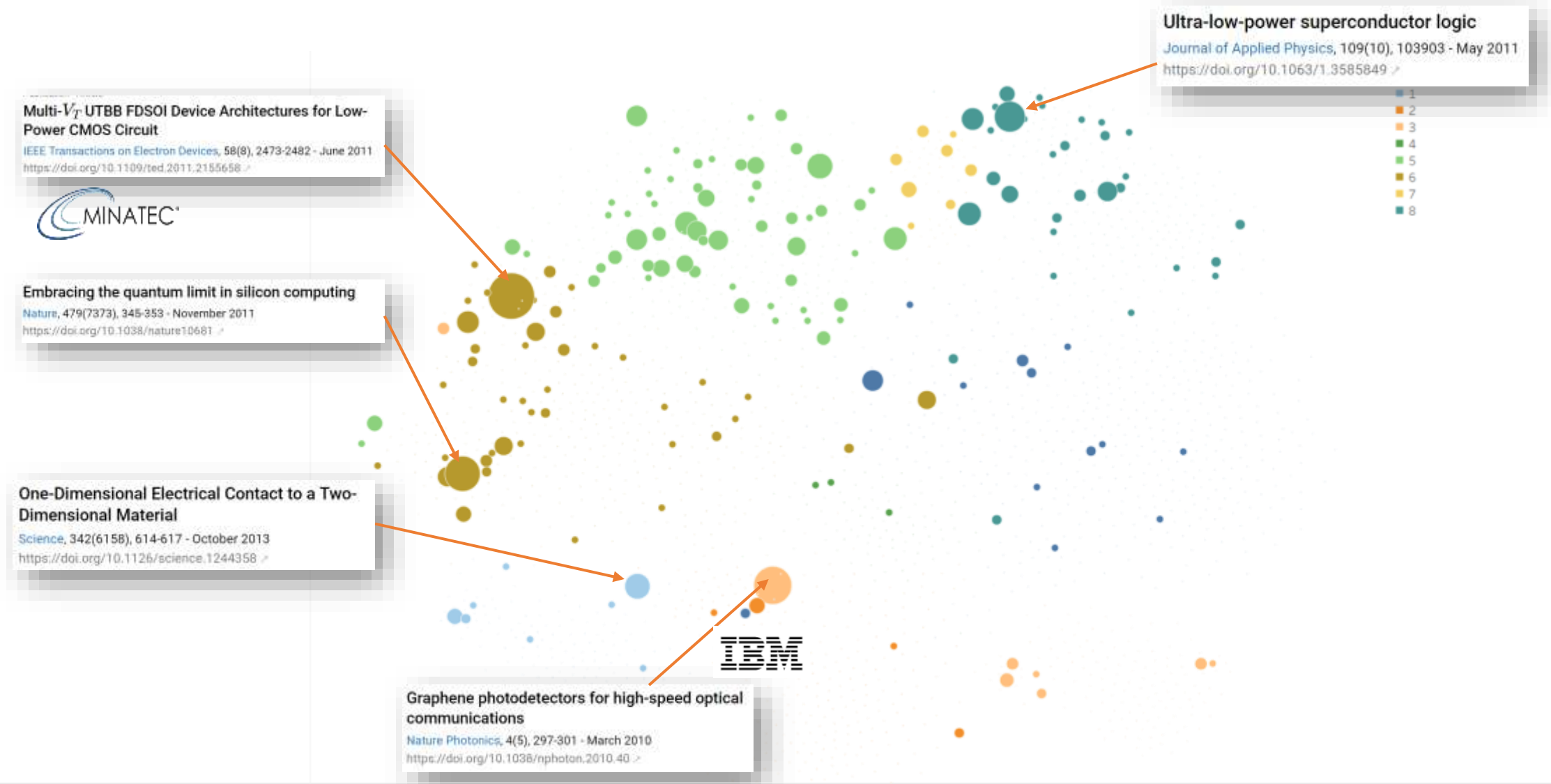


表示例

5
6
7
8

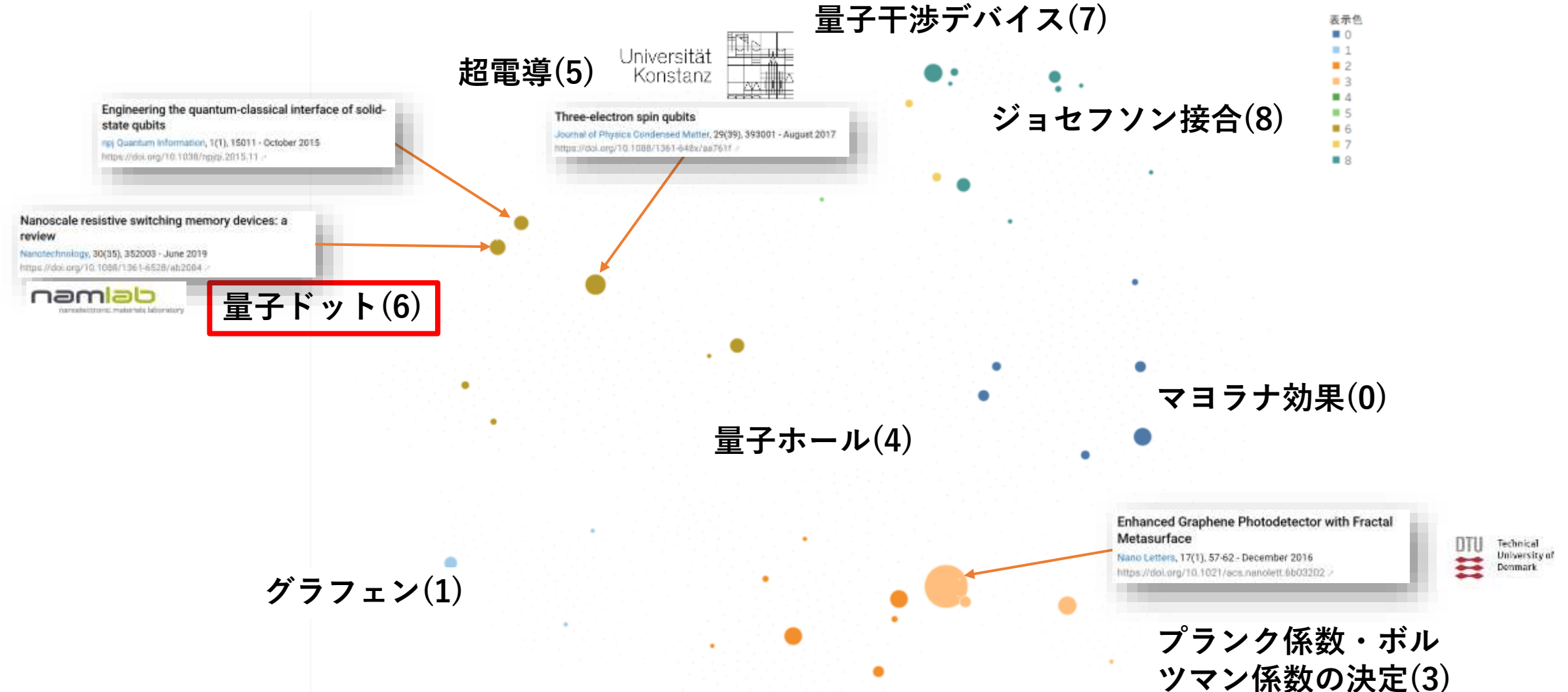
クラスター749（量子マテリアル・物性）の論文マップ（特許からの被引用数）

量子コンピュータの原理に関する論文が含まれるクラスターである。デバイスに関連した論文で被引用数が多いものがある。



クラスター749(量子マテリアル・物性)の論文マップ(特許発明者による論文)

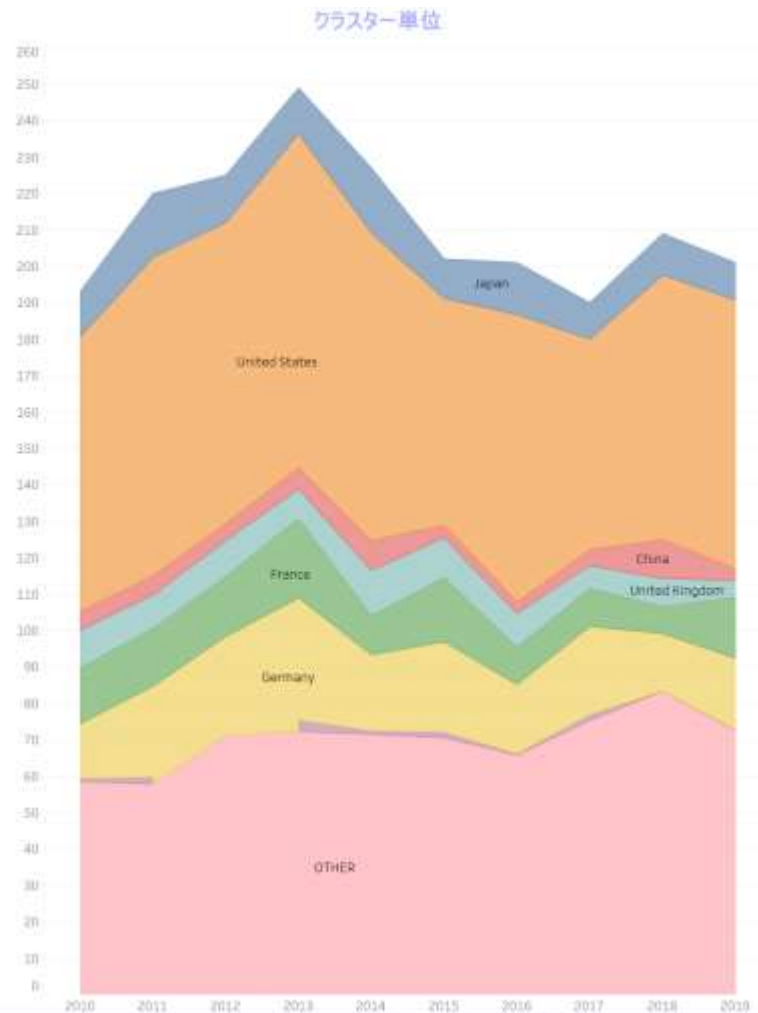
量子コンピュータの原理に関する論文が含まれるクラスターである。特許発明者による論文はどのサブクラスターにおいても少ない。特許との関連が薄い領域(物理現象やその原理そのものなど、特許要件を満たさない内容を主たる研究テーマとする研究分野)である可能性



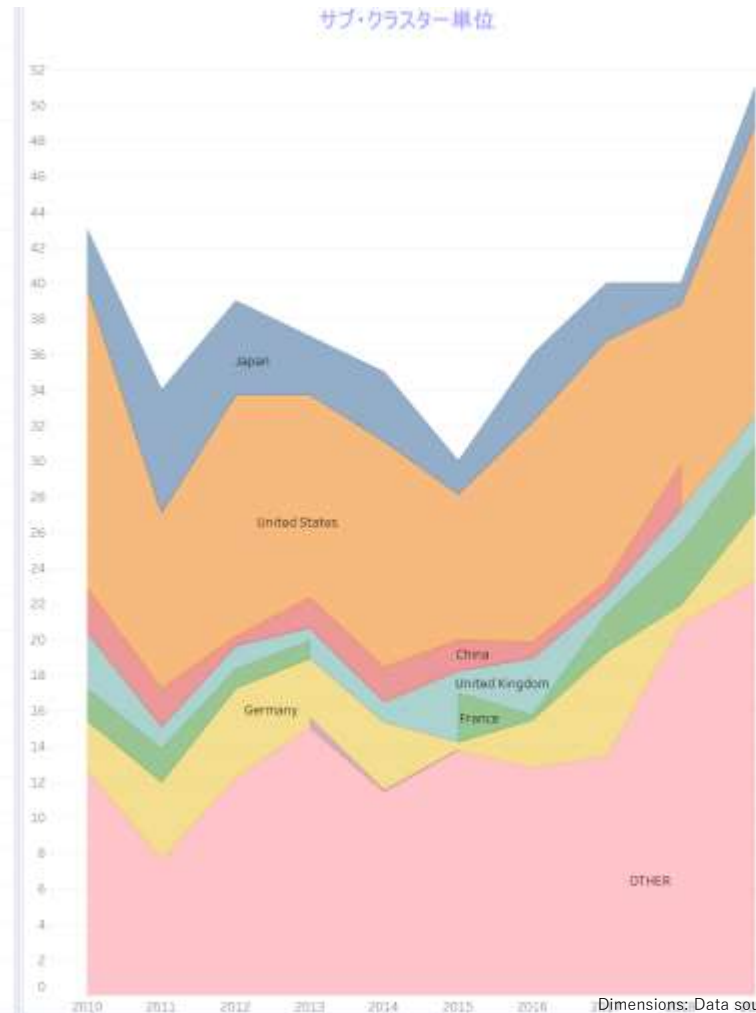
クラスター749（量子マテリアル・物性）、サブクラスター749-6(量子ドット)の論文数推移

量子コンピュータの原理に関する論文が含まれるクラスターである749について、論文数は一定の数で年次の変動が少ないが、量子ドットに関するサブクラスターである6については、近年論文数が増加している。その増加の多くは主要7か国以外である。

クラスター749の論文数推移



サブクラスター6の論文数推移

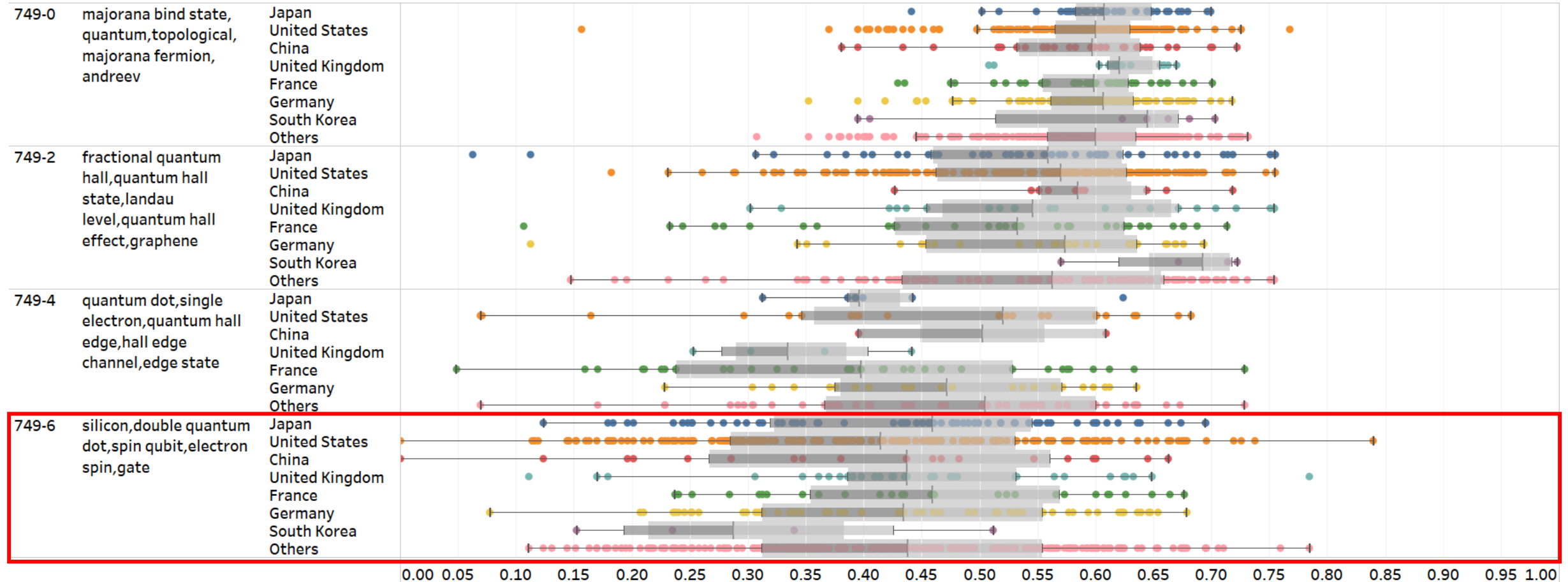


Dimensions: Data sourced from Dimensions, an inter-linked research information system provided by Digital Science (<https://www.dimensions.ai>).

749（量子マテリアル・物性）論文が引用する論文の分野分布(融合度)の比較

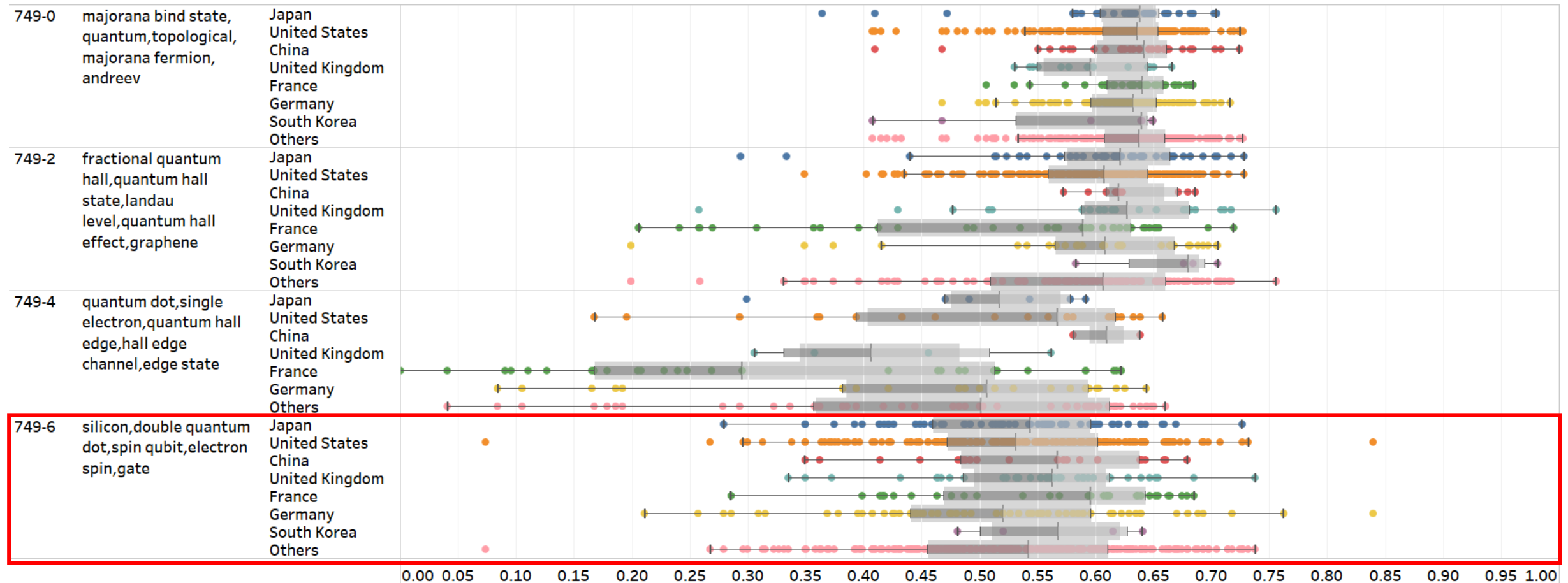
注目するサブクラスターに属する論文が引用している論文の分野 (FoR) の分布を比較した。分野シェアのハーフィンダール指数であり、大きい値であるほど多様な分野の論文を引用する、より融合的な内容であることを示唆する。

国ごとの傾向よりもサブクラスター毎の傾向の方が大きい。749-6について、日本論文の融合度は他国よりも高いが、論文間の相違も大きく大きく広がった分布となっている。



749（量子マテリアル・物性）論文を引用する論文の分野分布(波及度)の比較

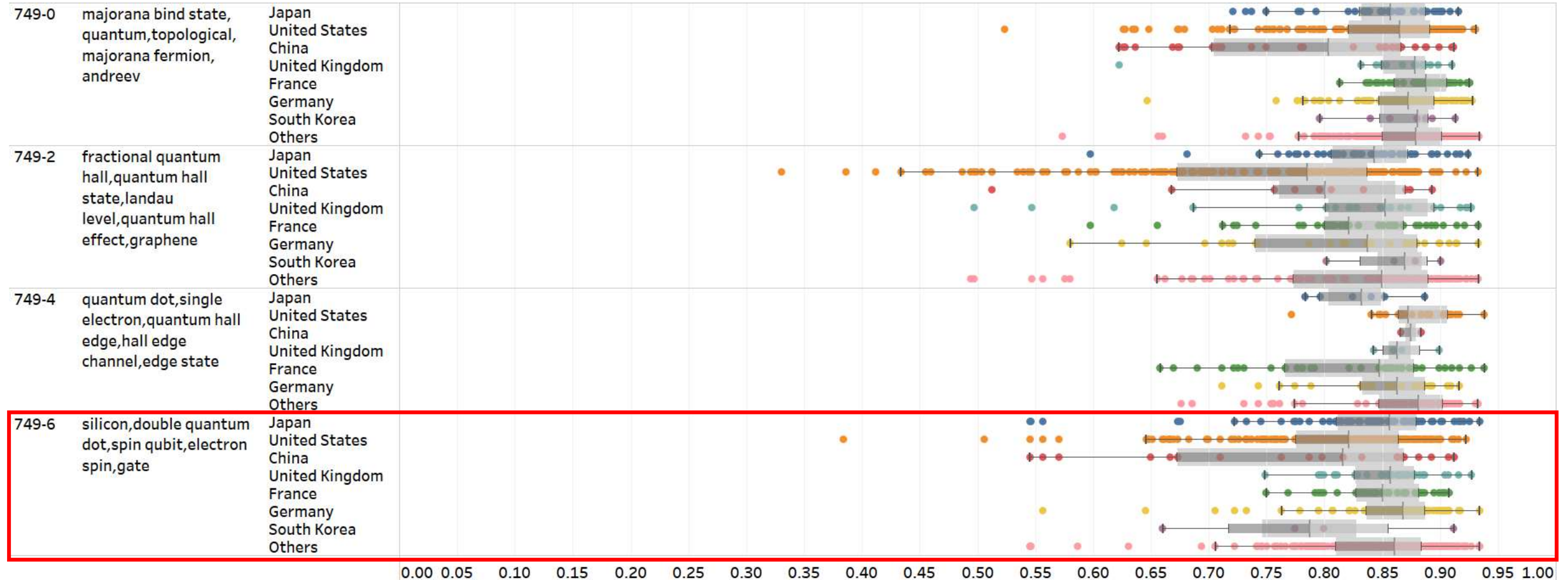
注目するサブクラスターに属する論文を引用している論文の分野 (FoR) の分布を比較した。前に示した「融合度」と近い概念であるが、「融合度」の算出のベースとなる引用文献は著者自身で制御可能であるのに対して、被引用文献は(自己引用以外)著者が制御不可能であることから、より客観性の高い融合度指標として知られる。大きい値であるほど多様な分野の論文を引用する、より幅広い分野に影響を与えていることを示唆する。749-6について、波及度も論文ごとの差が大きい、日本<中国<米国の順である。



749（量子マテリアル・物性）引用先の国際性の比較

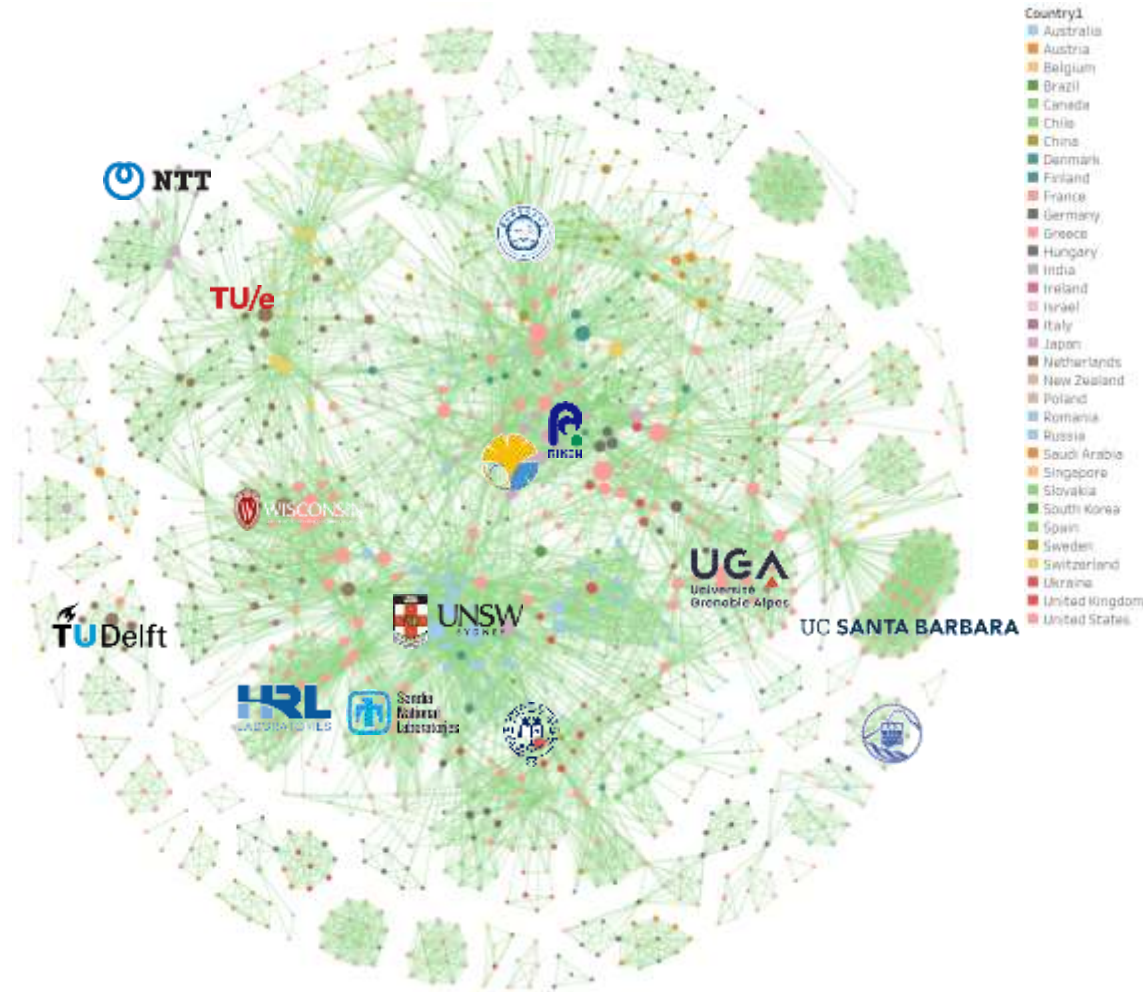
注目するサブクラスターに属する論文の各々を引用している論文の著者の国際性を算出した。（引用文献の著者集合における所属国のハーフィンダール指数であり、多いほど国際的に引用されていることを示す）

クラスター749の国際性は総じて高い。749-6については中国<日本<米国となっているが、米国と日本の差は少ない。



749-6 量子ドット に関する論文共著ネットワークと主要論文

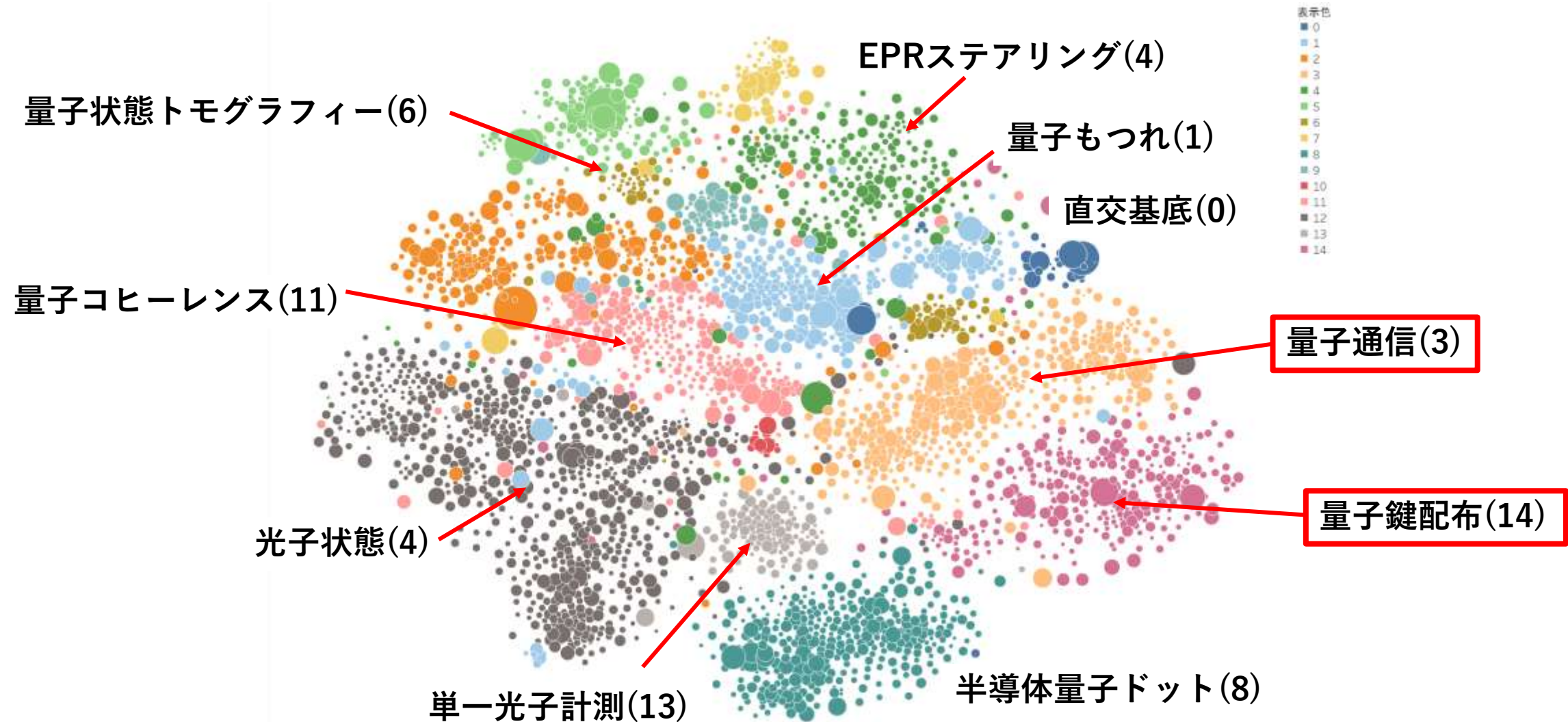
中国の存在感が低く、日本を含め多数の国が参加している領域である。日本については、東大・理研の周辺に米国・オーストラリアの研究者が位置する。オーストラリア（ニューサウスウェールズ大学）の研究者数は厚く、その周辺にオックスフォード大、サンディア国立研究所（米国）、ヒューズリサーチラボラトリーズ（米国）が位置している。他にはウィスコンシン大学、UCSB、グルノーブル大（フランス）なども多い。中国については中国科技大以外は顕著でない。



Title	Journal Title	Year	Cnt Cit..	Cnt Pat..	
Generic New Platform for Topological Quantum Com...	Physical Review Letters	2010	1307	0	US
Non-Abelian statistics and topological quantum info...	Nature Physics	2011	1016	7	DE IL US
Majorana fermions in a tunable semiconductor device	Physical Review B	2010	881	0	US
Single-shot readout of an electron spin in silicon	Nature	2010	497	0	AU FI US
Spin-orbit qubit in a semiconductor nanowire	Nature	2010	477	2	NL
Strong Coupling of a Spin Ensemble to a Supercondu...	Physical Review Letters	2010	447	0	DE FR
Demonstration of Entanglement of Electrostaticall...	Science	2012	408	7	IL US
Coherent singlet-triplet oscillations in a silicon-ba...	Nature	2012	392	5	US
Chiral Majorana fermion modes in a quantum anomal...	Science	2017	351	0	CN SA US
Optically addressable nuclear spins in a solid with a s...	Nature	2015	309	0	AU DE FR NZ US
A quantum-dot spin qubit with coherence limited by ...	Nature Nanotechnology	2017	299	0	JP
Valley Splitting and Polarization by the Zeeman Effe...	Physical Review Letters	2014	269	0	US
Room-Temperature Quantum Bit Storage Exceeding ...	Science	2013	259	1	CA DE GB
Resonantly driven CNOT gate for electron spins	Science	2017	251	10	DE JP US
Quantum Coherence in a One-Electron Semiconducto...	Physical Review Letters	2010	245	0	US
Ohm's Law Survives to the Atomic Scale	Science	2012	244	1	AU US
Charge Noise Spectroscopy Using Coherent Exchang...	Physical Review Letters	2013	235	0	IL US
Photoinduced Transition between Conventional and ...	Physical Review Letters	2010	229	0	JP
High-Fidelity Universal Gate Set for Be ⁹⁺ Ion Qubits	Physical Review Letters	2016	228	0	US
Cavity QED with Magnetically Coupled Collective Spi...	Physical Review Letters	2011	227	0	AT
Prospects for Spin-Based Quantum Computing in Qu...	Annual Review of Condens...	2013	222	1	CH
Chip-scale nanofabrication of single spins and spin a...	Nano Letters	2010	214	8	US
Dielectric properties of hexagonal boron nitride and ...	npj 2D Materials and Applic...	2018	209	0	US
Spectroscopy of Spin-Orbit Quantum Bits in Indium A...	Physical Review Letters	2012	208	0	NL
Quantum control and process tomography of a semic...	Nature	2014	205	0	US
Experimental realization of universal geometric qua...	Nature	2014	204	0	CN US
Embracing the quantum limit in silicon computing	Nature	2011	197	25	AU GB US
Enhancing the Coherence of a Spin Qubit by Operatin...	Physical Review Letters	2010	196	0	IL US
A Coherent Beam Splitter for Electronic Spin States	Science	2010	192	0	US
Non-adiabatic holonomic quantum computation	New Journal of Physics	2012	191	0	CN SE SG
Coherent spin manipulation in an exchange-only qubit	Physical Review B	2010	189	0	US
Self-consistent measurement and state tomography ..	Nature Nanotechnology	2013	185	1	AU DE DK US
Spin-valley lifetimes in a silicon quantum dot with tu...	Nature Communications	2013	178	0	AU US
Phonon-Induced Spin-Spin Interactions in Diamond N...	Physical Review Letters	2013	173	0	AT US
Interfacing spin qubits in quantum dots and donors...	npj Quantum Information	2017	169	1	AU DE NL US
Two-Qubit Gate of Combined Single-Spin Rotation an...	Physical Review Letters	2011	169	0	AT CA JP

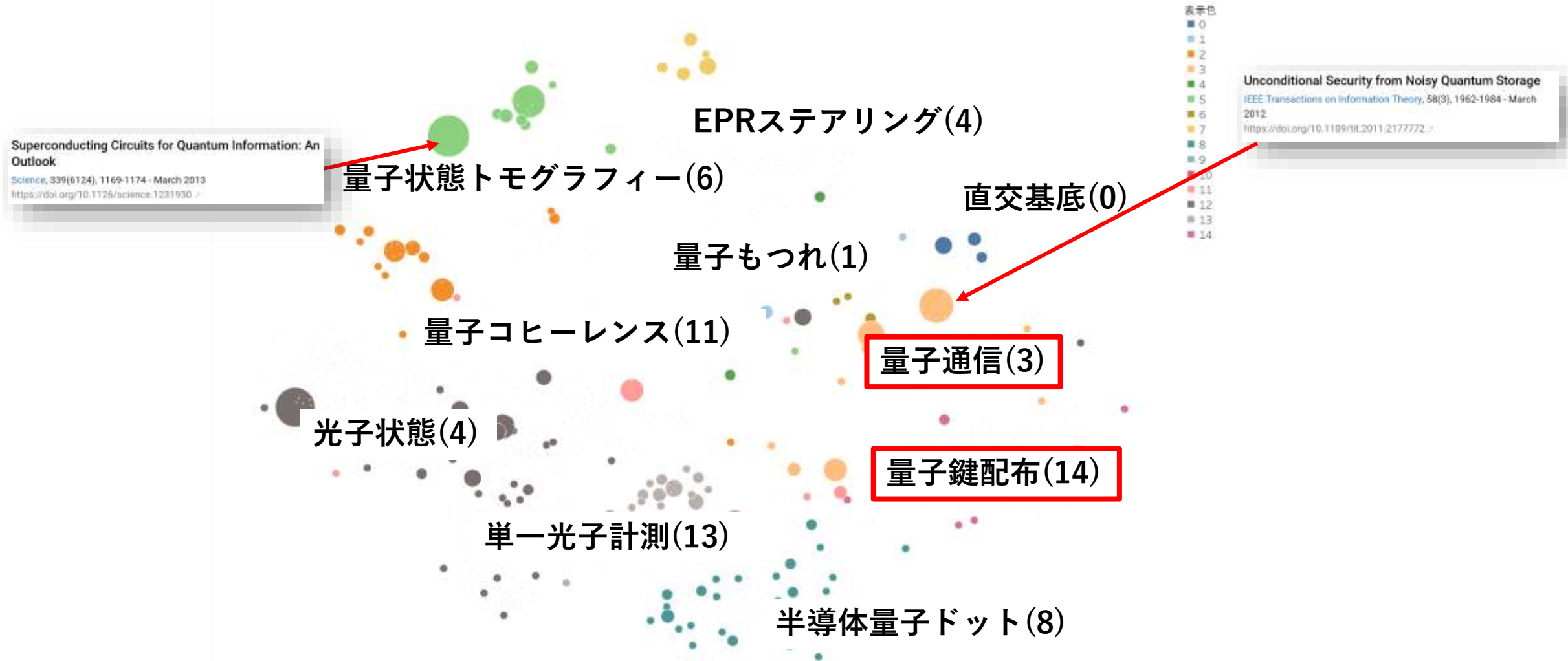
クラスター802(量子光学)の論文マップ

量子技術の中でも基礎原理に関する論文群に加え、量子通信、量子鍵配布(QKD)に関する論文が含まれている。



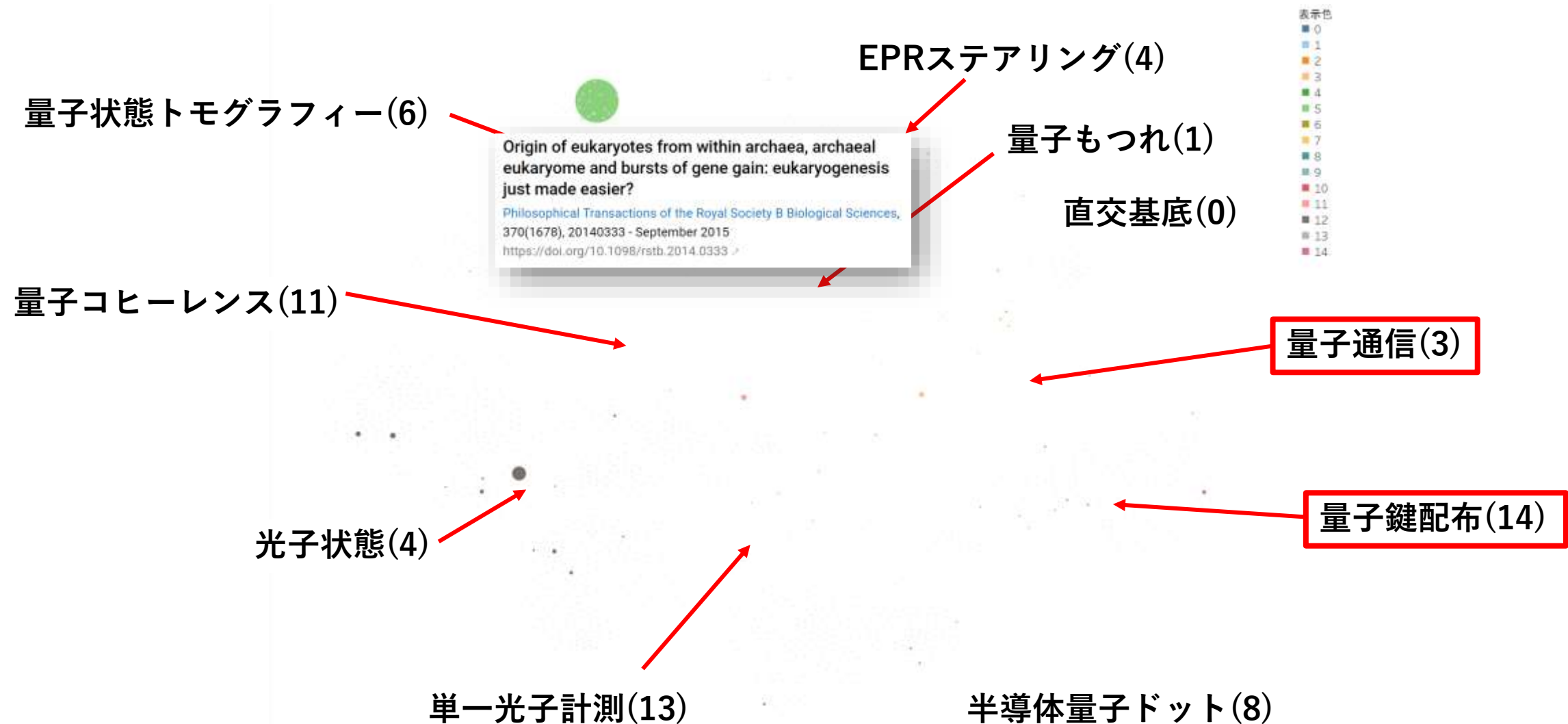
クラスター802(量子光学)の論文マップ(特許からの被引用件数)

量子技術の中でも基礎原理に関する論文群に加え、量子通信、量子鍵配布(QKD)に関する論文が含まれている。



クラスター802(量子光学)の論文マップ(特許発明者による論文)

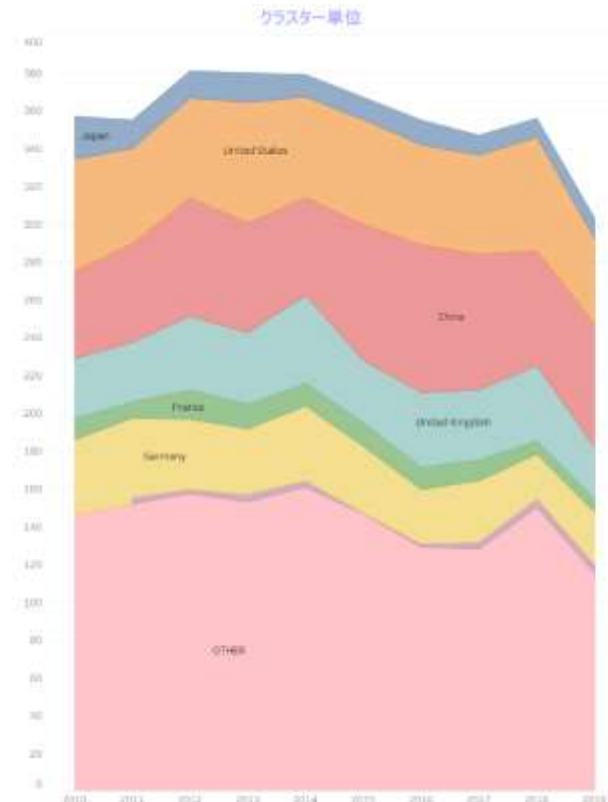
量子技術の中でも基礎原理に関する論文群に加え、量子通信、量子鍵配布(QKD)に関する論文が含まれている。



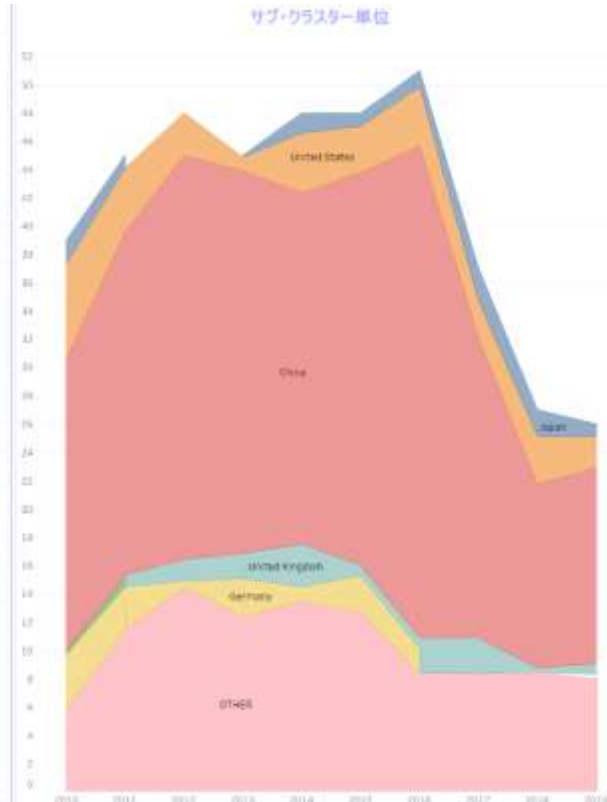
クラスター802（量子光学）、サブクラスター802-3（量子通信）、802-14（量子鍵配布）の論文数推移

量子技術の中でも基礎原理に関する論文が多数含まれるクラスターである802について、論文数は一定の数で年次の変動が少ないが、サブクラスターである3（量子通信）については、近年論文数が大幅に減少している。一方、サブクラスター14（量子鍵配布）については論文数が増加している。日本論文の割合はサブクラスター14の方が多い。

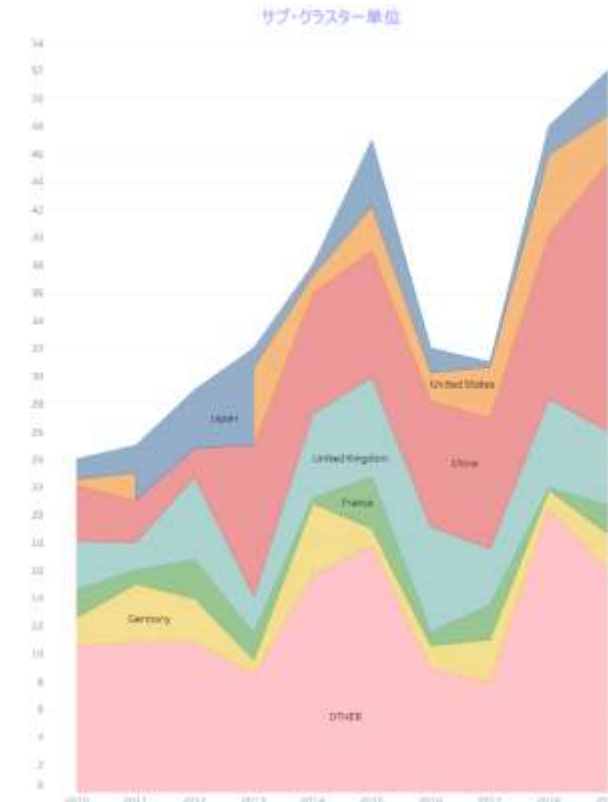
クラスター802の論文数推移



サブクラスター3（量子通信）の論文数推移



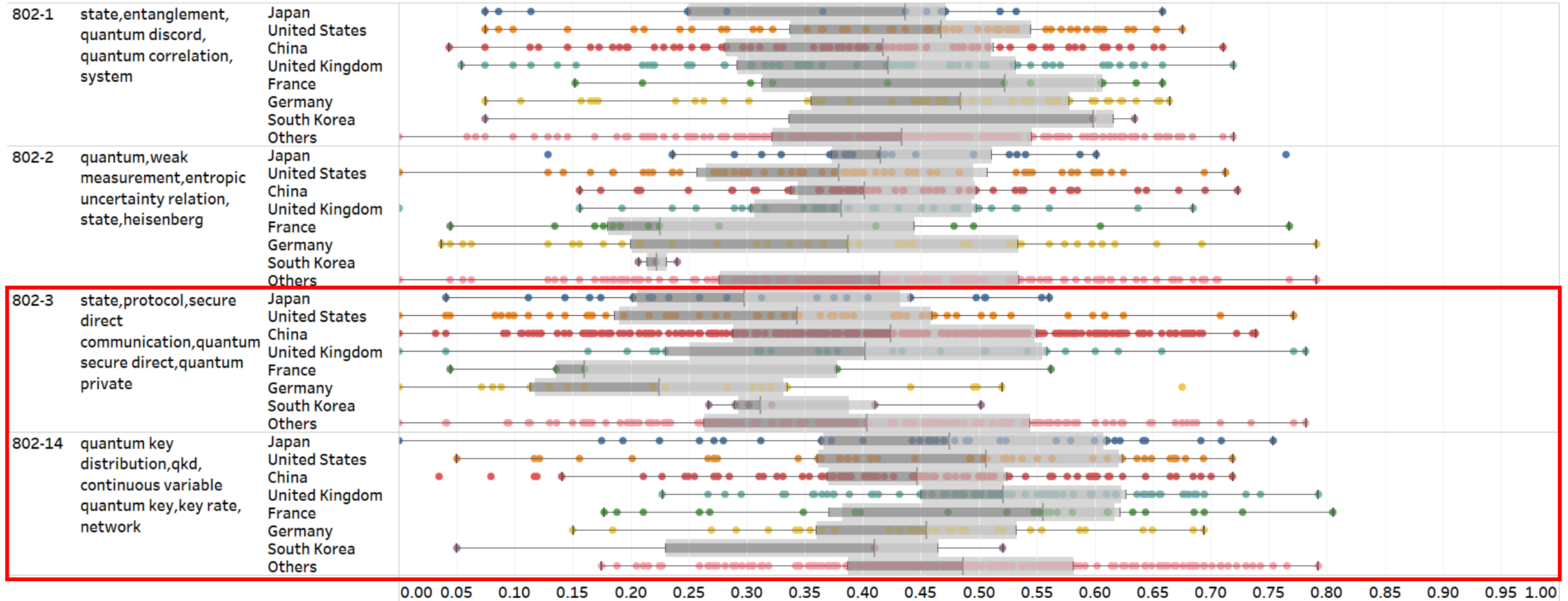
サブクラスター14（量子鍵配布）の論文数推移



802（量子光学）論文が引用する論文の分野分布（融合度）の比較

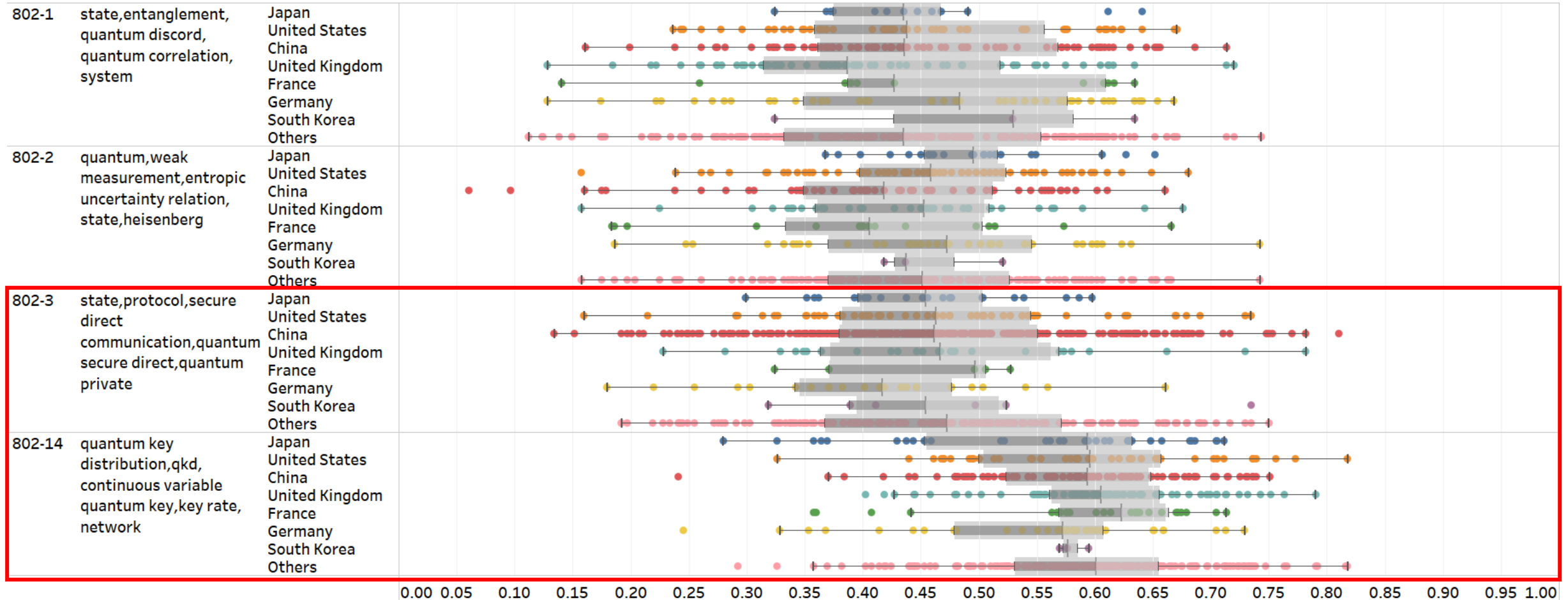
注目するサブクラスターに属する論文が引用している論文の分野（FoR）の分布を比較した。分野シェアのハーフィンダール指数であり、大きい値であるほど多様な分野の論文を引用する、より融合的な内容であることを示唆する。

国ごとの傾向よりもサブクラスター毎の傾向の方が大きい。802-3（量子通信）について、日本論文の融合度よりも中国や米国の方が高いが、広い範囲に分布しており差は顕著ではない。802-14（量子鍵配布）についても分布の幅が広く差が顕著でない。



802（量子光学）論文を引用する論文の分野分布（波及度）の比較

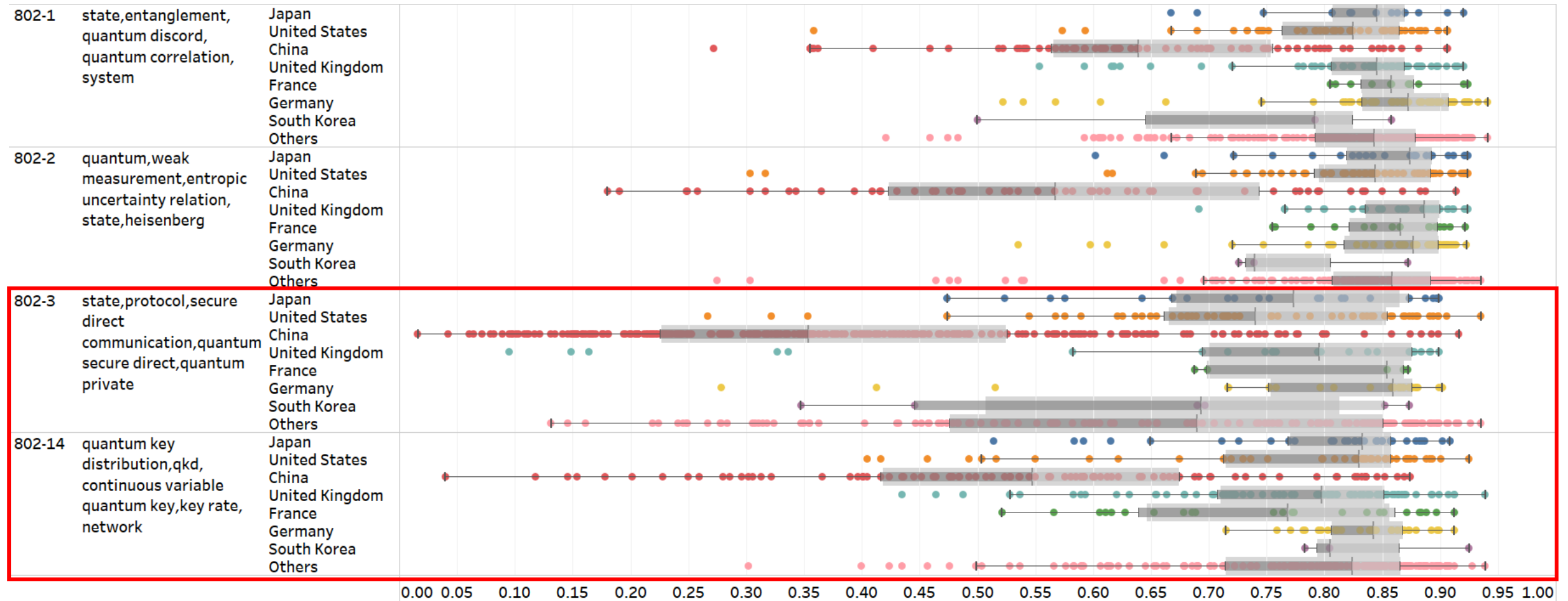
注目するサブクラスターに属する論文を引用している論文の分野（FoR）の分布を比較した。前に示した「融合度」と近い概念であるが、「融合度」の算出のベースとなる引用文献は著者自身で制御可能であるのに対して、被引用文献は（自己引用以外）著者が制御不可能であることから、より客観性の高い融合度指標として知られる。大きい値であるほど多様な分野の論文を引用する、より幅広い分野に影響を与えていることを示唆する。802-3（量子通信）、802-14（量子鍵配布）について、波及度も論文ごとの差が大きく、差は顕著でない。



802（量子光学）引用先の国際性の比較

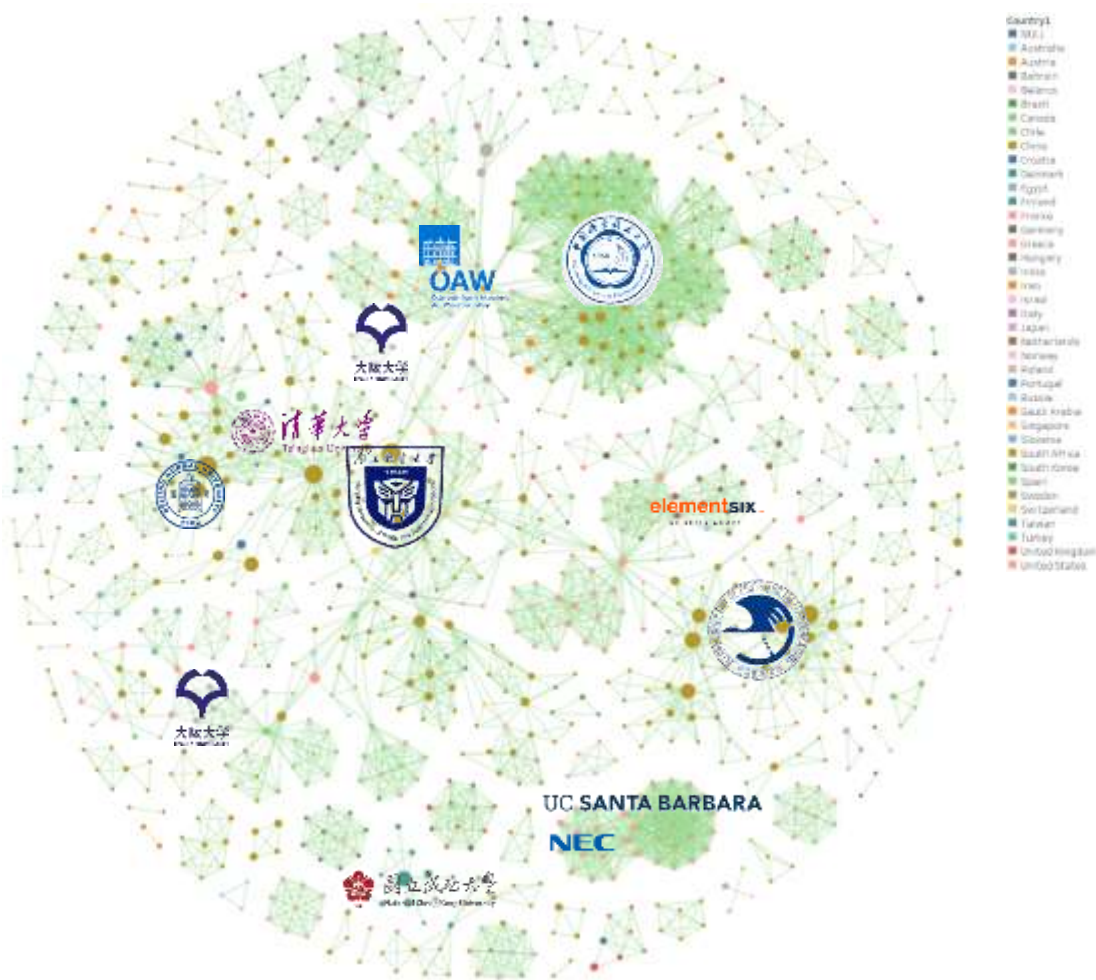
注目するサブクラスターに属する論文の各々を引用している論文の著者の国際性を算出した。（引用文献の著者集合における所属国のハーフィンダール指数であり、多いほど国際的に引用されていることを示す）

クラスター802の国際性は総じて高い。802-3（量子通信）と802-14（量子鍵配布）について、中国は国際性が顕著に低い。



802-3 量子通信 に関する論文共著ネットワークと主要論文

中国は4つのチーム(中国科技大が最大で、北京郵電大、南京郵電大、清華大+北京師範大が続く)に分かれて研究しており、その多くは共著関係になく競合関係とみられる。中国科技大はオーストリアの研究者を通じてオーストリア科学院とつながる。量子で強いUCSBのグループ中にNECが1名含まれる。他に、台湾の国立成功大、阪大(2チーム)などがみられる。De Beersグループのelement sixの研究者2名がハーバードとデルフト大の両方と共著にある。

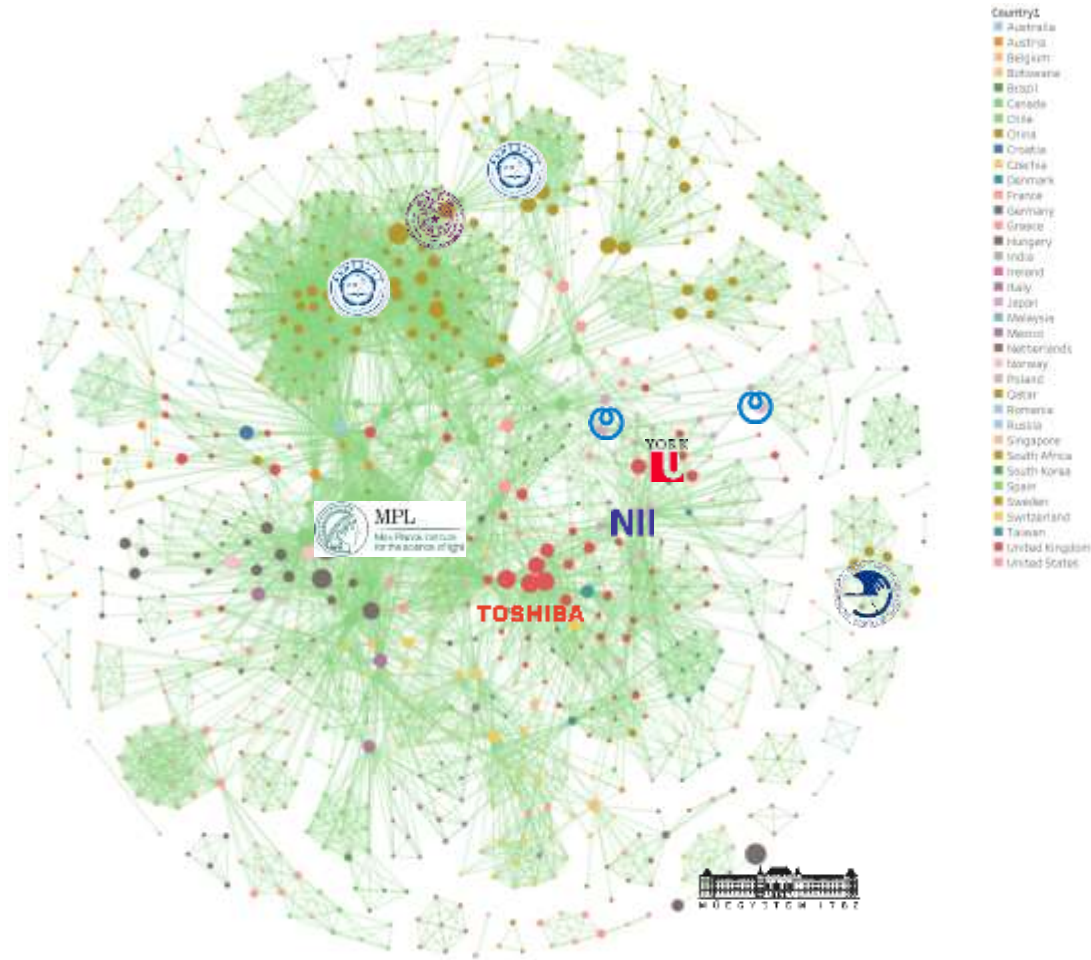


Title	Journal Title	Year	Cnt Cit.	Cnt Pat.	
Quantum cryptography: Public key distribution and c...	Theoretical Computer Sci.	2014	1147	6	CA US
Measurement-Device-Independent Quantum Key Dis...	Physical Review Letters	2012	968	2	CA ES
A Secure and Dynamic Multi-Keyword Ranked Search...	IEEE Transactions on Paral...	2016	764	0	CN
14-Qubit Entanglement: Creation and Coherence	Physical Review Letters	2011	688	0	AT CA
Secure quantum key distribution	Nature Photonics	2014	582	3	CA ES JP
Room-Temperature Quantum Bit Memory Exceeding	Science	2012	560	3	DE GB US
Cavity-based quantum networks with single atoms a...	Reviews of Modern Physics	2015	381	0	DE NL
Measurement-Device-Independent Quantum Key Dis...	Physical Review Letters	2016	377	0	CN US
Quantum teleportation over 143 kilometres using ac...	Nature	2012	353	0	AT CA DE US
Quantum teleportation of multiple degrees of freedo...	Nature	2015	332	0	CN
Quantum discord as resource for remote state prepa...	Nature Physics	2012	327	0	AT GB SG
Colloquium: Quantum networks with trapped ions	Reviews of Modern Physics	2010	319	3	US
Resonant enhancement of the zero-phonon emission...	Nature Photonics	2011	297	0	CA US
Unconditional quantum teleportation between dista...	Science	2014	297	1	GB NL
Deterministic entanglement purification and comple...	Physical Review A	2010	290	0	CN
Experimental Ten-Photon Entanglement	Physical Review Letters	2016	290	0	CN
Generation of three-qubit entangled states using su...	Nature	2010	289	0	JP US
Experimental Realization of Nonadiabatic Holonomic...	Physical Review Letters	2013	283	0	CN
Quantum Secure Direct Communication with Quantu...	Physical Review Letters	2017	283	0	CN
Advances in quantum teleportation	Nature Photonics	2015	278	0	CA DE GB JP
Quantum teleportation and entanglement distributi...	Nature	2012	272	0	CN
Qubit Architecture with High Coherence and Fast T...	Physical Review Letters	2014	262	12	US
Photon-Photon Interactions via Rydberg Blockade	Physical Review Letters	2011	261	0	DE US
Experimental Measurement-Device-Independent Qu...	Physical Review Letters	2013	259	0	CN US
Social Network and Tag Sources Based Augmenting ...	IEEE Transactions on Infor...	2015	259	0	SA
Experimental demonstration of a hyper-entangled te...	Nature Physics	2010	238	0	AT CN DE
Properties of nitrogen-vacancy centers in diamond: L...	New Journal of Physics	2011	236	0	CL HU RU US
CNOT and Bell-state analysis in the weak-coupling ca...	Physical Review Letters	2010	221	0	NL US
Efficient single-photon-assisted entanglement conce...	Physical Review A	2012	218	0	CN
Experimental quantum secure direct communication	Light: Science & Applications	2016	211	3	CN
One-step deterministic polarization-entanglement p...	Physical Review A	2010	199	0	CN
Enhancement of the zero phonon line emission from	Applied Physics Letters	2010	187	0	DE
Practical quantum key distribution protocol without	Nature	2014	182	0	JP US
Efficient two-step entanglement concentration for a...	Physical Review A	2012	176	0	CN
An efficient protocol for the private comparison of e...	Optics Communications	2010	172	0	CN
Cryptanalysis of multiparty controlled quantum secu...	Optics Communications	2010	166	0	CN
Deterministic polarization-entanglement purificatio...	Physical Review A	2010	166	0	CN
Optimal nonlocal multipartite entanglement conce...	Physical Review A	2012	166	0	CN
Entanglement purification and concentration of elec...	Physical Review A	2011	163	0	CN
Safety of Proton Pump Inhibitor Exposure	Gastroenterology	2010	152	0	US

Dimensions: Data sourced from Dimensions, an inter-linked research information system provided by Digital Science (<https://www.dimensions.ai>).

802-14 量子鍵配布 の論文共著ネットワークと主要論文

中国、日本、ドイツの存在感が強い。中国は中国科技大と清華大が最大勢力であり、北京郵電大は共著関係が無い(あくまでTop 10%論文の当該サブクラスターに限った場合である)。東芝は英国として区分される研究者が多数の論文を出版しており、NIIやNTTとつながっている。ドイツはマックスプランク研究所である。



Title	#	Journal Title	#	Year	Cnt Cit.	Cnt Pat.
Detecting single infrared photons with 93% system		Nature Photonics		2013	781	5
Hacking commercial quantum cryptography systems		Nature Photonics		2010	647	2
Experimental demonstration of long-distance contin		Nature Photonics		2013	459	3
Quantum internet: A vision for the road ahead		Science		2018	376	0
Side-Channel-Free Quantum Key Distribution		Physical Review Letters		2012	352	0
Provably secure and practical quantum key distributi		Nature Photonics		2015	294	3
Overcoming the rate-distance limit of quantum key		Nature		2018	285	0
Satellite-Relayed Intercontinental Quantum Network		Physical Review Letters		2018	249	0
Quantum computational supremacy		Nature		2017	235	0
High-rate measurement-device-independent quantu		Nature Photonics		2015	231	1
Real-World Two-Photon Interference and Proof-of-Pr		Physical Review Letters		2013	225	0
Finite-key analysis for measurement-device-indepen		Nature Communications		2014	210	0
Proposal for Implementing Device-Independent Qua		Physical Review Letters		2010	207	0
Experimental Demonstration of Polarization Encodin		Physical Review Letters		2014	205	0
Secure Quantum Key Distribution over 421 km of Opt		Physical Review Letters		2018	199	0
Finite-size analysis of a continuous-variable quantu		Physical Review A		2010	194	0
All-photonic quantum repeaters		Nature Communications		2015	188	0
Higher-dimensional orbital-angular-momentum-base		Physical Review A		2013	188	0
Composable Security Proof for Continuous-Variable		Physical Review Letters		2015	181	0
Direct and full-scale experimental verifications towa		Nature Photonics		2013	173	0
2 GHz clock quantum key distribution over 260 km of		Optics Letters		2012	166	0
Measurement-Device-Independent Quantum Key Dis		Physical Review Letters		2014	165	0
Proof-of-principle demonstration of measurement-d		Physical Review A		2013	160	0
Distributing Secret Keys with Quantum Continuous V		Entropy		2015	159	2
Long-term performance of the SwissQuantum quant		New Journal of Physics		2011	158	0
Preventing calibration attacks on the local oscillator		Physical Review A		2013	158	0
Visible-to-Telecom Quantum Frequency Conversion o		Physical Review Letters		2012	158	0
Concise security bounds for practical decoy-state qu		Physical Review A		2014	156	0
Experimental Satellite Quantum Communications		Physical Review Letters		2015	148	0
Implementation of a Nondeterministic Optical Noise		Physical Review Letters		2010	148	0
Observation of Two-Mode Squeezing in the Microwa		Physical Review Letters		2011	147	0
Long-distance free-space quantum key distribution i		Nature Photonics		2017	144	0
Quantum communication without the necessity of qu		Nature Photonics		2012	143	0
Generating the Local Oscillator "Locally" in Continuo		Physical Review X		2015	142	9
Device Calibration Impacts Security of Quantum Key		Physical Review Letters		2011	140	1
Security of Continuous-Variable Quantum Key Distri		Physical Review Letters		2013	140	0
Continuous variable quantum key distribution with		Nature Communications		2012	139	0
Decoy-state quantum key distribution with polarized		Optics Express		2010	139	0
Continuous operation of high bit rate quantum key di		Applied Physics Letters		2010	138	0
Quantum key distribution and 1 Gbps data encryptio		New Journal of Physics		2010	135	0

物性分野の重点分野分析の可能性

物性分野の同定

今回の分析はCondensed Matter Physicsに関するジャーナルを選び(以下のリストを参照)、それらのジャーナルに掲載された文献を仮に「物性論文」として定義した。また、物性論文の比率が多いクラスターを「物性クラスター」として定義した。通常「物性物理」として把握される内容よりも狭いという点に注意が必要。

仮に「物性関連」として定義した論文誌は以下である：

- *Advances in Condensed Matter Physics*
- *Annual Review of Condensed Matter Physics*
- *Computational Condensed Matter*
- *Condensed Matter*
- *ISRN Condensed Matter Physics*
- *Journal of Physics Condensed Matter*
- *Physica B Condensed Matter*
- *Physical Review B*
- *World Journal of Condensed Matter Physics*
- *Physica status solidi (b)*
- *Physica status solidi (a)* (FoR:Condensed Matterが53%)

※ *Solid State Communications* はFoR:Engineeringが77%であったためここでは除外した。

物性分野の日本論文率

今回の分析はCondensed Matter Physicsに関するジャーナルを選び(以下のリストを参照)、仮にそれらのジャーナルに掲載された文献を「物性論文」として定義したとすると。物性論文の比率が多いクラスターを仮に「物性クラスター」として定義できる可能性がある。この手続きによると、上記のような狭義の「物性」に偏ったとして把握される懸念があるが、それを計量書誌的に解消する方法は無いかな。なお、日本著者の論文率は全クラスターの平均は2.7%だが、上述のような仮に「物性論文」にした論文における日本著者の論文率は9.5%だが。

Partition	特徴語(アルゴリズムに基づくTitle + Abstractからの自動抽出)	キーワード(※左列の自動翻訳による仮訳)	ALL	N	物性率	JP	JP rate
444	spin liquid, spin, quantum spin, quantum, heisenberg	スピン液体, スピン, 量子スピン, 量子, ハイゼンベルグ	1,562	551	35.3%	72	13.1%
115	topological insulator, topological, insulator, semimetal, weyl	トポロジカル絶縁体, トポロジカル絶縁体, 半金属, ワイル	1,586	488	30.8%	52	10.7%
566	topological, topological phase, symmetry protect, protect topological, quantum	トポロジカル, トポロジカル位相, 対称性の保護, トポロジカル保護, 量子	502	152	30.3%	9	5.9%
427	superconductor, superconductivity, superconductor, base superconductor, fermi surface	超伝導体, 超伝導, 超伝導体, 基礎超伝導体, フェルミ面	3,413	859	25.2%	163	19.0%
749	quantum, qubit, majorana, josephson, superconductor	量子, 量子ビット, マヨラナ, ジョセフソン, 超伝導	2,202	488	22.2%	41	8.4%
321	spin, skyrmion, spin wave, magnetic, spin hall	スピン, スキルミオン, スピン波, 磁気, スピンホール	3,353	639	19.1%	118	18.5%
46	quantum, entanglement entropy, entanglement, body localization, quantum system	量子, エンタングルメント・エントロピー, 局在, 量子系	1,983	325	16.4%	7	2.2%
59	graphene, monolayer, metal dichalcogenide, transition metal, density functional	グラフェン, 単層, 金属ジカルコゲナイド, 遷移金属, 密度汎関数	8,449	953	11.3%	62	6.5%
311	thermoelectric, thermal conductivity, thermoelectric material, thermoelectric property,	熱電材料, 熱伝導率, 熱電特性, 熱電性能	3,280	318	9.7%	30	9.4%
240	bose, quantum, einstein condensate, bose einstein, fermi gas	量子アインシュタイン凝縮, ボース・アインシュタイン, フェルミ気体	4,136	378	9.1%	46	12.2%
25	lead free, ferroelectric, ceramic, multiferroic, thin film	鉛フリー, 強誘電体, セラミック, マルチフェロイック, 薄膜	4,232	374	8.8%	41	11.0%
544	diamond, nitrogen vacancy, vacancy, nanodiamond, vacancy center	ダイヤモンド, 窒素空孔, 空孔, ナノダイヤモンド, 空孔中心	1,232	93	7.5%	10	10.8%
964	reverberation chamber, reverberation, chamber, quantum graph, electromagnetic	リバースチェンバー, 量子グラフ, 電磁波	154	10	6.5%	1	10.0%
650	acoustic, metamaterial, phononic crystal, acoustic metamaterial, phononic	フォノン結晶, 音響メタマテリアル	1,637	93	5.7%	4	4.3%
1313	peridynamic, radiative, casimir, base peridynamic, radiative heat	ペリダイナミック, 放射性, カシミール, ベースペリダイナミック, 熱放射	1,292	72	5.6%	1	1.4%
578	force microscopy, atomic force, single molecule, molecule, afm	原子間力顕微鏡(AFM), 単一分子, 分子	1,862	98	5.3%	8	8.2%
269	magnetocaloric, memory alloy, shape memory, magnetocaloric effect, alloy	磁気熱量, メモリー合金, 形状記憶, 磁気熱量効果, 合金	1,097	55	5.0%	8	14.5%
766	gan, nanowire, algan, emit diode, light emit	GaN, ナノワイヤー, アルガン, エミットダイオード, ライトエミット	2,997	149	5.0%	15	10.1%
344	dislocation, grain boundary, alloy, grain, energetic material	転位, 粒界, 合金, 結晶粒, エネルギー物質	3,484	168	4.8%	11	6.5%
77	density functional, functional theory, bond, dft, basis set	密度汎関数(DFT), 汎関数理論, 結合, 基底セット	4,308	194	4.5%	9	4.6%
1102	dirac, quantum, dirac equation, schrödinger equation, schrödinger	ディラック, 量子, ディラック方程式, シュレーディンガー方程式	624	27	4.3%	2	7.4%
326	solar cell, thin film, solar, czts, film solar	太陽電池, 薄膜, ソーラー, CZT	1,784	63	3.5%	2	3.2%
568	terahertz, thz, cascade laser, quantum cascade, laser	テラヘルツ(THz), 量子カスケードレーザー	1,559	53	3.4%	14	26.4%
132	quantum, quantum system, markovian, open quantum, system	量子, 量子系, マルコフ型, 開放量子, 系	2,873	88	3.1%	3	3.4%
996	energy absorption, auxetic, foam, honeycomb, negative poisson	エネルギー吸収, オーセティックス, 発泡体, ハニカム, 負のポアソン	1,878	54	2.9%	0	0.0%



本日の発表内容は次の通りであった：

- 手法の説明
- 参考事例(量子技術)
- 物性分野の重点分野分析の可能性

発表は以上です。