



## 先端技術領域での国際的な知識伝播の現状の可視化

### 米中の技術的なデカップリングを検討する素材として

吉岡 (小林) 徹 (一橋大学イノベーション研究センター講師)

#### ○要約

- 中国の科学技術力の獲得には長期的な知識学習の過程が存在していることが推測される。特に米国企業の知識の参照、米国との人的交流が寄与していると考えられる。
- 米中の技術的なカップリング関係は特許情報、論文書誌情報を用いることで一定程度可視化できる。本研究ノートでは移動通信技術、量子コンピューティング技術の2領域を対象に可視化を行なった。
- 移動通信技術領域では華為科技 (Huawei) の技術的・商業的なインパクトが2010年代を通じて増していることが確認できるが、サムスン電子、LG電子、Qualcommに比べると相対的にインパクトは小さい。また、Qualcomm、Huawei間には相互に知識参照関係があり、技術的なデカップリングには大きな影響が伴うことが予想される。
- 量子コンピューティング技術領域では米中の共著 (直接的な人的交流) が活発に行われてきたことがわかる。量的な生産では米中が抜きんでているものの、インパクトの点では中国は及ばない。ただし、中国の成果のインパクト自体は成長傾向にある。技術的なデカップリングは中国に対して特に大きな影響を及ぼすものと予想される。

### 1. 技術的な「カップリング」の必然性

米中の経済対立の中で、先端技術領域でのデカップリングを進める政策が米中それぞれから急速に打ち立てられている。米国は2019会計年度国防授權法、2020会計年度国防授權法などを通じて、とくに移動通信、そして先端科学技術領域の技術輸出に対する規制を強化した。中国は2020年10月の全国人民代表大会において輸出管理法を制定し、米国と同じく移動通信、先端科学技術領域の輸出管理を強めた。

このような政治的な動きに対して中立的でありたいというのが、国際的な競争力を持つ企業の偽らざる本音であろう<sup>1</sup>。とりわけ、市場とサプライチェーンの多くを中国に持つ米国の技術系のトップグローバル企業にとってはその事業への影響が大きい<sup>2</sup>。中国のグロー

<sup>1</sup> Rachman, G. (2020, August 17). 2020. Opinion: The decoupling of the US and China has only just begun. *Financial Times*. Retrieved from <https://www.ft.com/content/9000d2b0-460f-4380-b5de-cd7fdb9416c8>

<sup>2</sup> The Economist (2020, August 13). 2020. The great decoupling: The Trump administration wants a US-China commercial split. *The Economist*. Retrieved from <https://www.economist.com/business/2020/08/13/the-trump-administration-wants-a-us-china->

バル企業にとっても同様であり、とくに移動通信端末の半導体領域では中国単独では競争力のあるビジネスを行えないことを示す結果となった<sup>3</sup>。これらはビジネス上の関係性がカップリング関係にあることに由来しているが、技術的な関係ではどのようになっているのだろうか。

中国の科学技術力は 2000 年代以降成長し続けてきた。2000 年代の後半には少なくとも科学論文や特許の量的な生産性の点で成長が著しいことが報告されている（科学技術振興機構研究開発戦略センター, 2019）。そして、2019 年の時点では、システム・情報科学技術、環境・エネルギー、ライフサイエンス・臨床医学、ナノテクノロジー・材料などの主要分野においては少なくとも日本と同等と評価される科学技術力を持つに至った（科学技術振興機構研究開発戦略センター, 2019）。この中でも中国の研究大学、公的研究機関、そして、情報・通信分野の企業の寄与は大きい。

一般に、技術知識は組織間で容易に移転するものではない（Suzlanski, 2000）ため、これらの組織が、技術知識を学習し、自組織で活用する組織としての能力である「吸収能力（absorptive capacity）」が必要になる（Cohen and Levinthal, 1990; Camisón and Forés, 2010）。この能力は、組織内部での研究開発、他組織からの学習（模倣学習のほか、アライアンスや買収、人材の引き抜きを含む）によって養われる。とくに知識を自組織に定着させ、かつ、活用するには、自組織内での研究開発の蓄積（Vega-Jurado et al., 2008）や科学研究への関与（Cockburn and Henderson, 1998）が重要であるとの実証的な研究成果が存在する。このように、組織としての科学技術力の獲得には地道な研究開発投資が寄与していることがわかっている。

同時に、この吸収能力を基盤として、積極的に組織外の知識を探索する活動も求められる。とくに技術知識は地理的な距離の影響を受けやすい（Henderson et al., 2005）。距離が遠いと知識の移転が困難になるのである。技術知識の中の暗黙知となっている部分が、直接の人的交流を必要としており、そのために地理的な近接性が重要になっていると解釈されている（Evans and Harrigan, 2005）。地理的に距離のある組織間の技術知識の移転には、積極的な模倣学習や引き抜きを含む人的な交流が重要になる。

このように、技術マネジメント論の知見からは、中国の科学技術力の獲得の背景には長期間の研究開発活動と他組織の知識の学習活動が存在すると考えられる。当然ながらその学習先には米国が含まれることが容易に推測される。多くの留学生が米国に学び、また、技術者が米国での発明活動の後、中国に帰国している（Fink and Miguez, 2013）。このような人材異動を中心に人的交流による知識学習が進んでいると考えられる。

同様のことは米国の企業にも当てはまる。中国の大学やグローバル企業の技術力獲得を受け、これらの組織から米国の大学・企業が学習をしている可能性がある。また、米国から

---

commercial-split

<sup>3</sup> The Economist (2020, January 2). 2020. The future: Technological progress in China could still lead to fireworks. The Economist. Retrieved from <https://www.economist.com/technology-quarterly/2020/01/02/technological-progress-in-china-could-still-lead-to-fireworks>

中国への人材の異動も大きな影響を与える。一般に組織間の人材異動では異動先の組織に知識が移転するだけでなく、異動元の組織にも知識獲得の機会となることが知られている (Corredoira and Rosenkopf, 2010)。これは異動した人材が知識の仲介を行うためであると理解されている。とくに米国から中国への人材異動が多い中、米国は中国の科学技術力を吸収する機会が増していると推測される。つまり、米中間には技術上のカップリングが存在することが想定されるのである。

## 2. 技術的なカップリング関係の可視化手法

技術的なカップリング関係を把握するには、技術知識がどのように組織間（ないし国家間）で移転しているか、そして、それぞれの主体がもつ技術知識がどの程度のインパクトを有しているかを明らかにする必要がある。管見の限り、知識の流れとインパクトを把握する汎用的な方法は存在しない。しかし、技術領域によっては特許、学术论文の書誌情報分析により行うことができる。

特許の書誌情報には引用情報が含まれ、これを利用すれば、ノイズが含まれるものの知識の流れをおおよそ推定できることが複数の研究で確認されている（既存研究の総説として Jaffe and de Rassenfosse, 2019）。また、引用された数（被引用数）が技術の商業的・技術的価値を反映していることが知られている（同）。このように、特許の書誌情報を使って知識の流れとインパクトが推定できる。

ただし、技術がそもそも産業応用の前段階にある場合は特許として出願されることは少ない。産業応用される段階にあったとしても、技術がノウハウとして秘匿可能な領域や技術としての寿命が10年程度以上ある領域でなければ特許として出願をする意義に欠ける。また、特許として出願をすることで競合相手に推知をされてしまう可能性もあり、ある技術を迂回される可能性が高い場合にも出願をする動機を欠くこととなる。特許出願を行う動機が強く存在する領域は、製薬や化学など技術の迂回が困難な分野 (Cohen et al., 2000)、または、技術規格などに含まれるなどして補完材との関係で迂回が困難な分野 (Holgersson et al., 2018) が代表的である。他方、情報技術分野では、技術の寿命が短く、また、処理の実行をクラウド上で行うなど、技術内容を秘匿することが容易であることから、特許の書誌情報での計測に適していない。

産業応用の前段階にある場合や、科学知識が重要な領域<sup>4</sup>では、学术论文の書誌情報が有効である。学术论文においては引用は知識の流れとして当然に推定可能であり、また、その被引用数は学術的なインパクトの指標として長く用いられている。ただし、産業界にとっては論文出版の動機は乏しく、技術領域や産業分野による差異が大きい (Camerani et al., 2018)。しかも近年、産業界からの学术论文出版はやや減少しつつある (National Science Board, 2018: p.114)。このため、限られた先端科学領域のみに適用可能と考えた方がよい。

---

<sup>4</sup> Arora et al. (2020)は米国のイノベーションの担い手としての産業界の役割が低下し、大学の役割が増していることを実証的に示している。

以下では、移動通信技術（事例①）、量子コンピューティング技術（事例②）を例に米中の技術的なカップリング関係を可視化する。

### 3. 事例①：移動通信技術

移動通信技術は国際的な規格化が重要な領域であり、グローバル企業が国際標準化を競っている。各社から標準必須特許が活発に出願されており、特許の書誌情報を使って技術的なカップリング関係の計測に適した領域である。

ここでは、欧州電気通信標準化機構（ESTI）の標準必須特許データベースに登録された特許の情報を特許データベース PATSTAT に接続し引用情報を得た。この特許は第 2 世代から第 5 世代の標準必須特許の多くを網羅するものである。ただし、必須性については検証されておらず、あくまで特許権者が必須であると称しているものに留まる。

特許は各国の出願の基礎となった発明が共通のもの（国際特許ファミリー）を単位として数えた。また、国際的な重要な標準必須特許に限定するため、米国または欧州で出願された特許を国際特許ファミリーに含むもののみを対象とした。特許は出願から 1 年半経過しないと自動的に公開されず、しかもそれが特許データベースに反映されるまでにはタイムラグがある。本分析では、米国または欧州での出願を条件としたため、国際特許条約に基づき他地域で出願し、これらの地域への国内移行の途上にある場合には把握できていない。概ね 2015 年までのデータに限られてしまっている点が課題点である。出願人名（企業名）は目視で名寄せを行った。

主要企業の標準必須特許国際ファミリーの推移を示したものが図 1 である。2000 年代後半は Qualcomm 社が必須特許を最も多く出願していたが、2010 年代の前半には LG Electronics 社、Samsung 社、華為科技（Huawei）社からの出願も非常に多くなされるようになった。米中の関係で言えば、量的な面では Huawei が既に 2012 年から台頭していることがわかる。

---

<sup>5</sup> 横浜国立大学・安本典雅教授が作成した特許リストを利用した。

標準必須特許国際ファミリー数

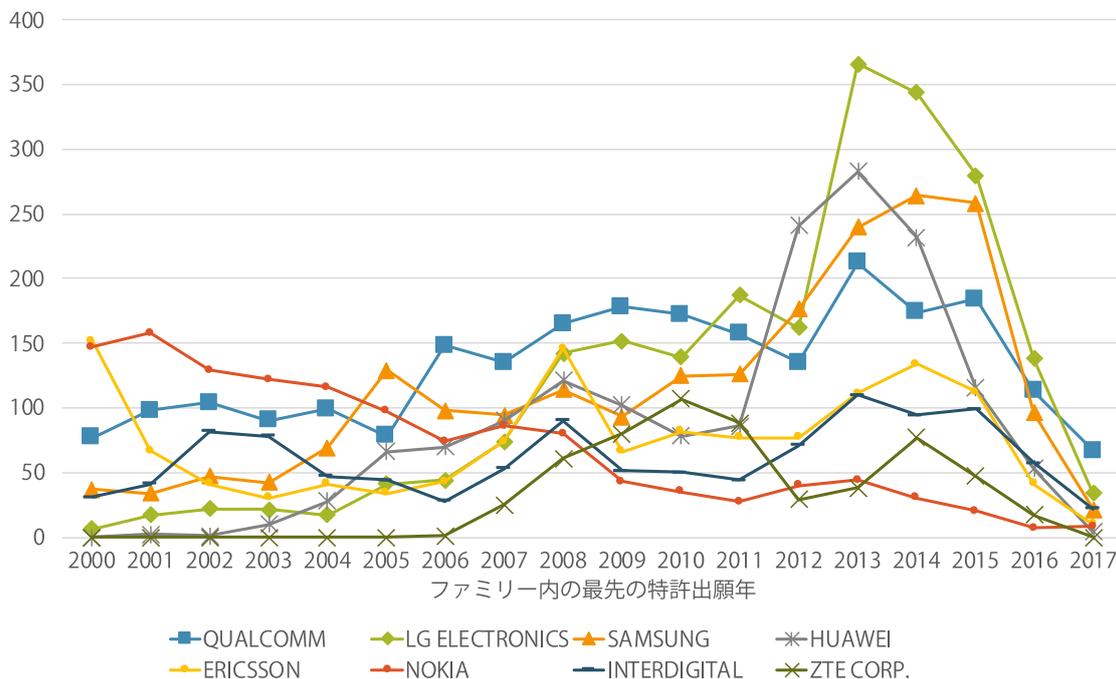
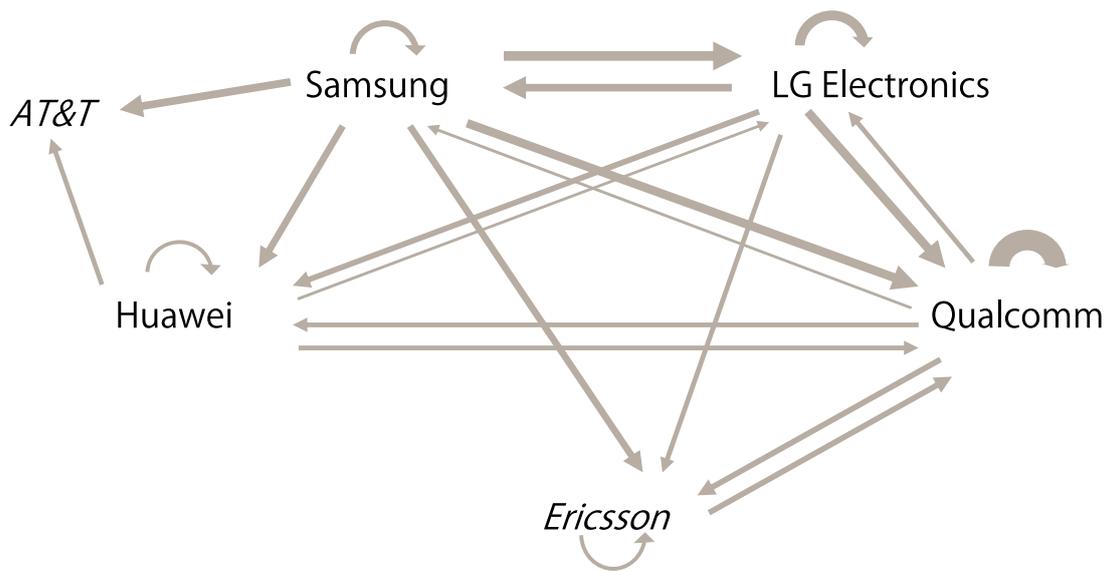


図 1 主要企業の移動通信規格の必須特許数推移

次に、上位 4 社間での知識の流れを引用関係を基に推定したものが図 2 である。ここでは、2015 年から 2017 年出願分の標準必須特許について、国際特許ファミリー単位で引用数を算出し、60 件以上の引用がなされている場合に、引用された特許の出願企業から引用した特許の出願企業に矢印を描画した。線の太さは引用数の多さと比例している。図のとおり、Samsung の必須特許は他の 3 社、さらに Ericsson 社、AT&T 社が積極的に引用していることがわかる。LG Electronics の特許にも同様のことが当てはまるが、引用数で見ると Samsung よりは少ない。他方、Huawei は Samsung、LG Electronics からの引用が少ない一方、Qualcomm からは一定の引用がなされている。ここから、少なくとも Huawei と Qualcomm の間には一定のカップリング関係があることがわかる。

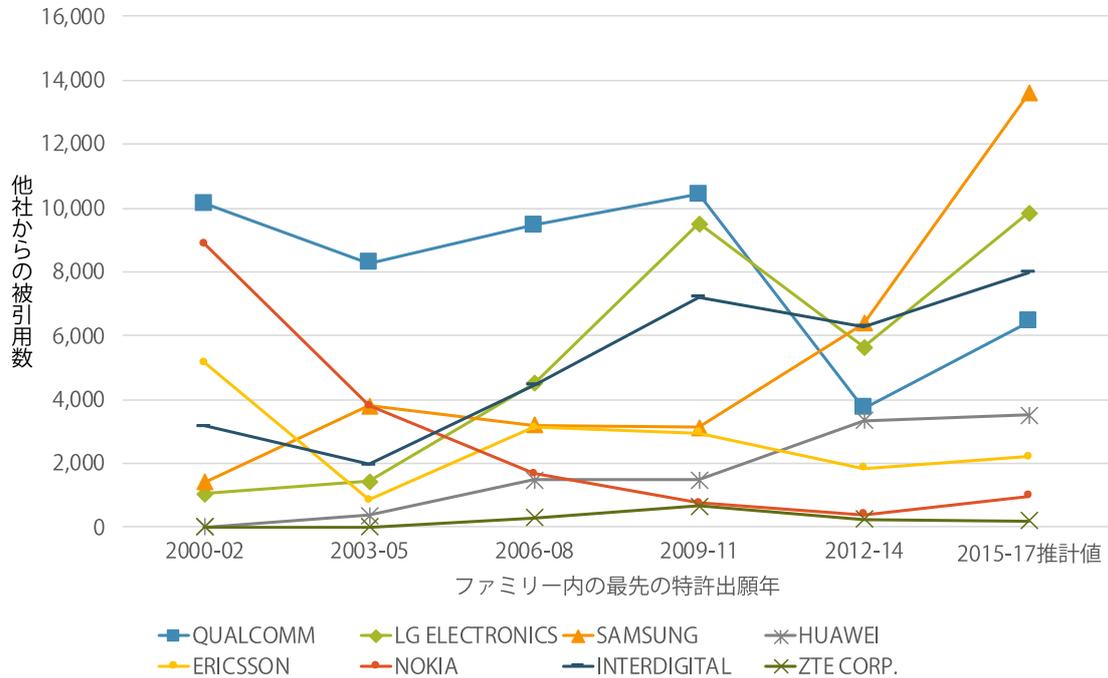


(注) 引用する国際特許ファミリー数が 60 以上の関係のみを示した。矢印の先は引用した企業、元は引用された企業を表し、知識がどのように移転したかを表している。

**図 2 2015 年-17 年出願の移動通信規格の必須特許での主要企業間引用関係**

最後に各社の技術のインパクトを被引用数で推定した結果を図 3 に示した。ここでの被引用数は国際特許ファミリーを単位とし、3 年ごとに集計をした。この結果からは、2010 年以降は Samsung、LG Electronics が総合的に高いインパクトを示していることがわかる。また必須特許の件数では相対的に少ないものの、非実施機関（自らは特許権を活用した事業を営んでいない組織）である InterDigital 社も高いインパクトを持つ特許を保有していることがわかる。他方、インパクトの点では Huawei は Samsung、LG Electronics らに及んでいない。ただし、少なくとも 2 番手集団と言えるだけのインパクトを持っており、軽視できない存在であることがわかる。

各社の標準必須特許の被引用数国際特許ファミリー数推移



(注) 被引用数は出願年が新しいほど少なくなる。2015年-17年の値はこの年次の影響を取り除くため、線形に延長し推計したものである。

図 3 主要企業の移动通信規格の必須特許の被引用数推移

このように特許の書誌情報を使った分析からは少なくとも 2015 年以降は米国 (Qualcomm) と中国 (Huawei) の間に一定度の知識の流れ (技術的なカップリング関係) があり、しかもそれぞれが持つ技術にインパクトがあることがわかる。米中の技術デカップリングには双方に大きな影響を与えることが予想される。

なお日本企業は、標準必須特許の数、インパクトの双方において上位 10 社に含まれなかったため表示していないが、日本企業の知識の参照先には Huawei が含まれている。相対的に技術的なインパクトが小さい状況にある我が国企業は、これらの主要企業の動向に対して従属的にならざるを得ないと推測される。米中の技術的なデカップリングは我が国の企業への大きな影響を伴うことが懸念される。しかも、Samsung、LG Electronics、Huawei とも 2000 年代後半から莫大な研究開発投資を行ったと推測される特許の生産性を示している。我が国企業がこれらに追いつくためには相当な資本・労力の投下と 10 年程度の期間が求められると推測される。

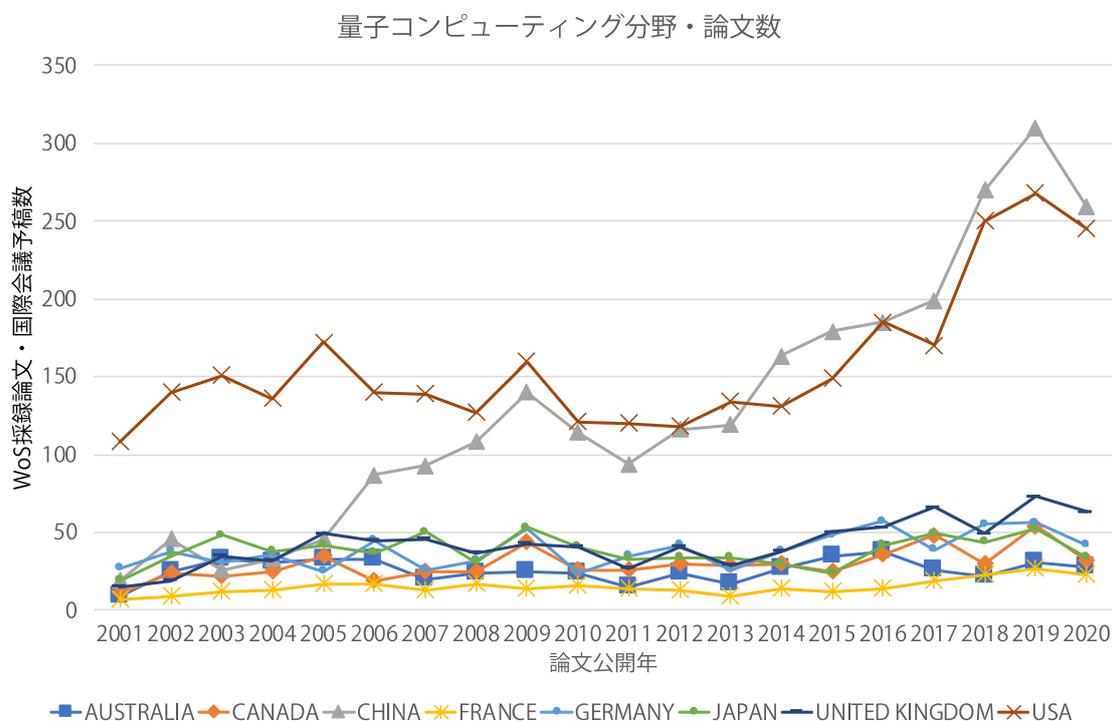
また、標準必須特許における引用には知識参照によるものの他に、近接する技術領域であるため特許の審査において引用されたものも含まれる。とくに標準化の議論の中で戦略的な優位性を保つために他社の規格提案に類似した特許出願も行われており、これらが引用数を、被引用数を増やしてしまっている可能性が残される (Kang and Bekkers, 2015 も参照)。

#### 4. 事例②：量子コンピューティング技術

極めて高度な暗号化や、複雑な機械学習、精緻な気候シミュレーションなどでの応用が期待されている量子コンピューティング技術は応用開発が進んでいる状況にある。既に特許出願はなされているものの、多くが学術研究の段階にある。このため、学術論文の書誌情報分析が適した領域であるといえる。

ここでは学術論文の書誌情報データベースである Web of Science (WoS) からタイトル、抄録、キーワードのいずれかに「quantum computer」または「quantum computing」を含む論文を抽出し、分析を行った。知識の参照関係については引用情報を用いることもできたが、より直接的な人的な交流を計測することとし、共著関係に着目した。なお、組織単位の集計の場合、組織数が多く複雑になりすぎるため、国間の共著関係とみなした。ただし、複数の所属を 1 名の著者が有している場合にも形式的に国際的な共著関係があったと判定されてしまっている。客員としての地位など実質的な所属でない場合も含まれているため、国際的な共著関係を過大に計測してしまっている可能性が残されている。

図 4 は量子コンピューティング領域の論文数の推移を示したものである。2000 年代後半から量的には米国と中国が圧倒的な知識の生産をしていることが確認できる。とくに 2017 年以降はその伸びが著しい。



(注) 2020 年は 9 月末日までの論文数

図 4 主要国の量子コンピューティング領域の論文数推移

次に、主要国の国際共著関係を図にしたものが図 5 である。2006 年から 10 年に公開された論文の共著関係を左図に、2016 年から 20 年に公開された論文の共著関係を右図に示した。同じ色の国はそれぞれ共著を通じた結びつきの上で密接な関係にある集団を示している。

2006 年からの 5 年間では中国は米国、ドイツと特に活発な共著を行っているが、その結びつきの強さは米・カナダ間のものよりは弱く、日米間、米英間のものと同程度である。結びつきの面では、米国・英国を中心とし、日本、カナダ、オーストラリア、フランスを含むグループと、ドイツを中心としイタリア、スペインを含むグループに別れており、中国は第三のグループとして区分される位置にある。国際的な共著関係は十分にあるものの、特定のグループに深く入り込んでいるものではないことがわかる。

他方、2016 年からの 5 年間では米中間の共著が最も多いことがわかる。しかも中国はイギリス、ドイツ、オーストラリア、日本とも相対的に活発な共著を行っている。知識の参照関係からみると、米国を中心とするネットワークに深く埋め込まれていることがわかる。

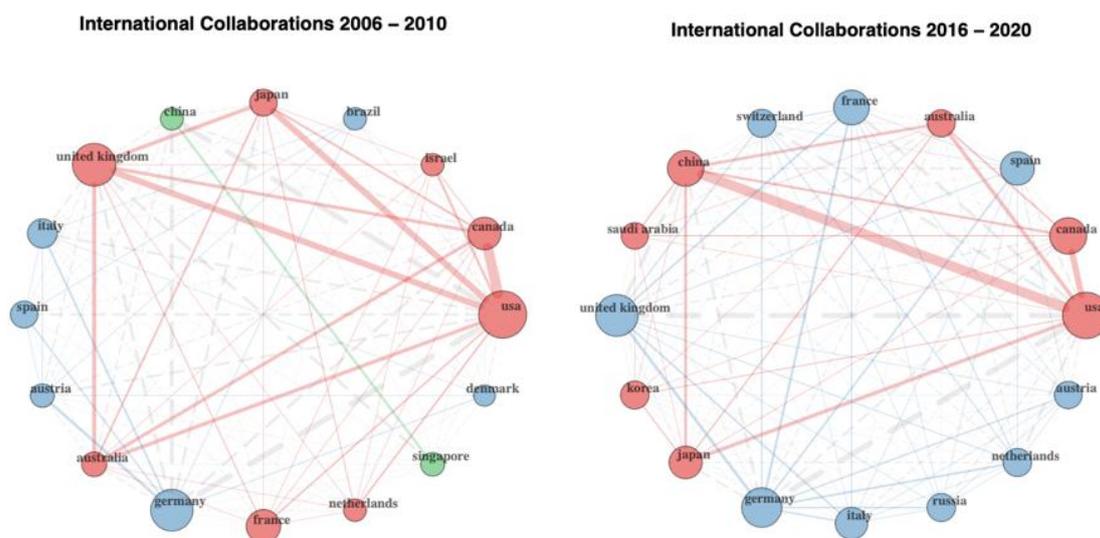


図 5 主要国の量子コンピューティング領域の論文の共著関係

図 6 はインパクトの代理指標となる被引用数のシェアの推移を示したものである<sup>6</sup>。ここでは筆頭著者の所属国を基準に算定した。米国発の論文の被引用数が圧倒的に多いことがわかる。近年はそのシェアを落としているものの、相対的に見ると圧倒的なインパクトを誇っている。他方、中国はシェアを伸ばしているものの、直近の 3 年であっても米国とは大きな差がある。

<sup>6</sup> 図 3 と異なり、相対的なシェアであることに注意。これは学術論文の場合、近年極端に引用数が増加しており、直近の出版であることのバイアスに対する適切な推計が困難であったためである。

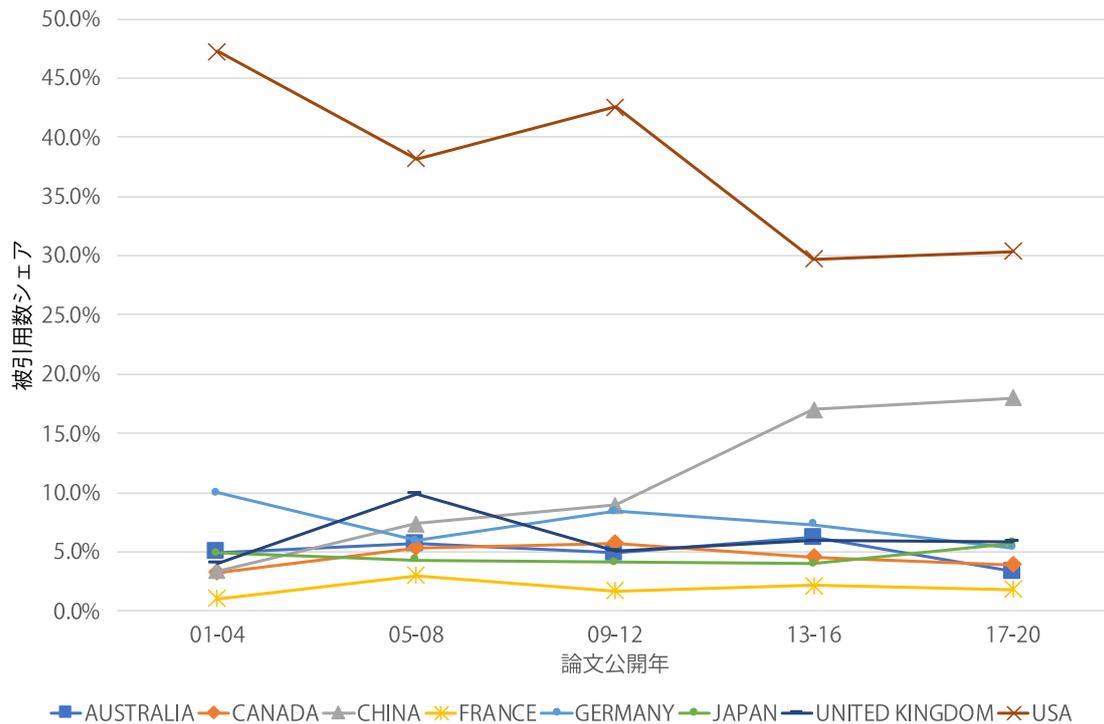


図 6 主要国の量子コンピューティング領域の論文の被引用数シェア推移

このように量的な生産では米中の双方が抜きんでているものの、インパクトの点では中国は及ばない。しかも米中の間には極めて多くの共著関係がある。インパクトの差異を考慮すると、中国が米国の知識生産に従属的な立場にあると解釈できるのではないか。そうであるとすると、技術的なデカップリングは主として中国に対して特に大きな影響を及ぼすものと予想される。

## 参考文献

- Arora, A., Belenzon, S., Pataconi, A., & Suh, J. (2020). The changing structure of American innovation: Some cautionary remarks for economic growth. *Innovation Policy and the Economy*, 20(1), 39-93.
- Camerani, R., Rotolo, D., & Grassano, N. (2018). Do firms publish? A multi-sectoral analysis. *JRC Working Papers on Corporate R&D and Innovation No 05/2018*.
- Camisón, C., & Forés, B. (2010). Knowledge absorptive capacity: New insights for its conceptualization and measurement. *Journal of Business Research*, 63(7), 707-715.
- Cockburn, I. M., & Henderson, R. M. (1998). Absorptive capacity, coauthoring behavior, and the organization of research in drug discovery. *The Journal of Industrial Economics*, 46(2), 157-182.

- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 128-152.
- Cohen, W. M., Nelson, R. R., & Walsh, J. P. (2000). Protecting their intellectual assets: Appropriability conditions and why US manufacturing firms patent (or not). NBER Working Paper, 7552.
- Corredoira, R. A., & Rosenkopf, L. (2010). Should auld acquaintance be forgot? The reverse transfer of knowledge through mobility ties. *Strategic Management Journal*, 31(2), 159-181.
- Evans, C., & Harrigan, J. (2005). Distance, time and specialization: Lean retailing in general equilibrium. *American Economic Review*, 95(1), 292-313.
- Fink, C., & Miguelez, E. (2013). Measuring the international mobility of inventors: A new database. WIPO Economic Research Working Paper No.8
- Henderson, R., Jaffe, A., & Trajtenberg, M. (2005). Patent citations and the geography of knowledge spillovers: A reassessment. *American Economic Review*, 95(1), 461-464.
- Holgersson, M., Granstrand, O., & Bogers, M. (2018). The evolution of intellectual property strategy in innovation ecosystems: Uncovering complementary and substitute appropriability regimes. *Long Range Planning*, 51(2), 303-319.
- Jaffe, A. B., & De Rassenfosse, G. (2019). Patent citation data in social science research: Overview and best practices. In *Research handbook on the economics of intellectual property law*. Edward Elgar Publishing.
- Kang, B., & Bekkers, R. (2015). Just-in-time patents and the development of standards. *Research Policy*, 44(10), 1948-1961.
- National Science Board (2018). Chapter 5: Academic research and development. In *Science & Engineering Indicators 2018*. NSB-2018-1.
- Vega-Jurado, J., Gutiérrez-Gracia, A., & Fernández-de-Lucio, I. (2008). Analyzing the determinants of firm's absorptive capacity: Beyond R&D. *R&D Management*, 38(4), 392-405.
- Szulanski, G. (2000). The process of knowledge transfer: A diachronic analysis of stickiness. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82(1), 9-27.
- 科学技術振興機構研究開発戦略センター. (2008). 『中国の科学技術力について』 科学技術振興機構.
- 科学技術振興機構研究開発戦略センター. (2019). 『研究開発の俯瞰報告書統合版 (2019年) ~俯瞰と潮流~』 科学技術振興機構.