

3.1.S7 数理科学

3.1.S7.1 数理モデリング

領域の定義

理学・医学・工学から社会人文科学までの広大な領域の研究に現れるイベントには、純粋な物理現象など基礎方程式が明らかな現象とともに、生物・社会現象など基礎方程式がその存在を含めて明らかでない現象が数多く存在する。数理モデリングは、前者のみならず後者も含む広い範囲の現象に対し、必ずしも要素還元的な視点からではなく、現象論的な視点に立って、数学的記述を見いだすことにより、現象の機構の数理的解明と現象の数理的予測を行う領域である。

ポイント

- 論文数について、中国が顕著に増えていて2020年以降欧州すら越えている。また、インドの台頭が目立つ。Top1%、10%についても同様。ロシアは2016～2020年にかけて一時的に数だけが増えている。(図3.1-S7.1-1 b)、図3.1-S7.1-2 c)、d))
- 相対被引用度 (CNCI) について、英国やドイツ、フランスが高い値を保っている。欧州としてはそれほど高くない。一方、中国やインドなどは1より低い右肩上がりではある。ロシアは最下位である。(図3.1-S7.1-2 e))
- 各国間の共著率について、中国は米国との割合が多く、米国は中国と欧州が主で、英国は欧州1位、米国2位。インドは米国と欧州が主で、ドイツやフランスは欧州1位、米国2位、英国3位である。対して日本は米国との割合が多めながら中国や欧州とも多い。(図3.1-S7.1-3 a))
- 論文数上位機関について、フランスCNRSがトップである。論文数10位以内にはない国、ウクライナの機関が2位に入っている。また、中国は6機関が10位以内に入っているが、インドは入っていない。(図3.1-S7.1-3 b))
- 特許ファミリー件数については中国がシェアを拡大しており、Patent Asset Indexのシェアも2017年に米国を超えている。米国は相対的にシェアを落としている。インド、オランダ、スイスは特許ファミリー件数のシェアは10位以内ではないが、Patent Asset Indexシェアは10位以内である。(図3.1-S7.1-4 b)、d))

3
アウトプットの分析
(研究開発領域別)

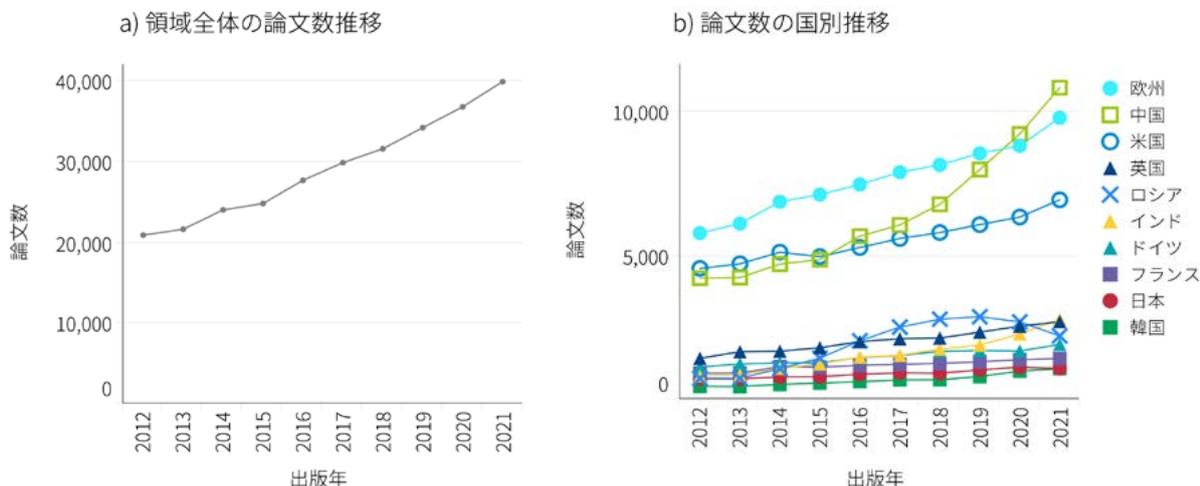


図3.1-S7.1-1 数理モデリング領域における論文数の動向①

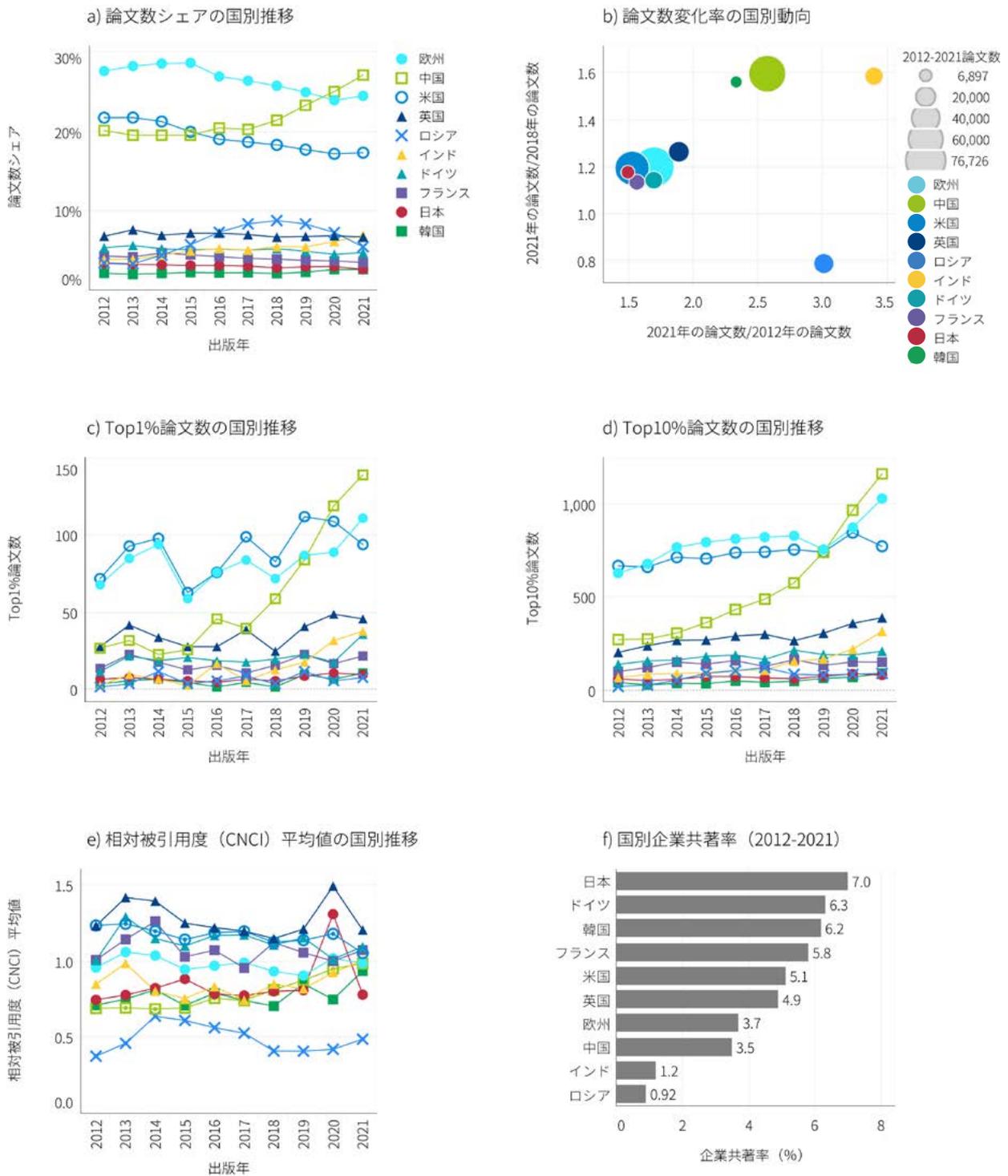


図3.1-S7.1-2 数理モデリング領域における論文数の動向②

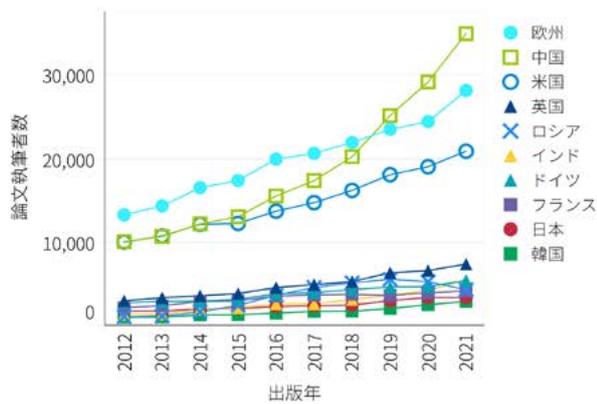
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

| (%) | 中国 | 欧州 | 米国 | 英国 | インド | ドイツ | フランス | カナダ | 日本 | 韓国 | 論文数 (件) |
|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|------------|
| 中国 | \ | 3.2 | 8.8 | 3.5 | 0.39 | 1.2 | 0.84 | 1.7 | 1.2 | 0.59 | 65,788 |
| 欧州 | 3.7 | \ | 9.8 | 7.7 | 1.2 | 6.1 | 4.6 | 2 | 1.1 | 0.54 | 56,379 |
| 米国 | 10 | 9.9 | \ | 6 | 1.6 | 3.7 | 3 | 3.5 | 1.8 | 1.8 | 55,511 |
| 英国 | 11 | 21 | 16 | \ | 2.4 | 7.3 | 6 | 3.2 | 2 | 0.94 | 20,486 |
| インド | 1.6 | 4.3 | 5.5 | 3.1 | \ | 1.2 | 0.9 | 0.88 | 0.68 | 0.95 | 15,755 |
| ドイツ | 5.2 | 23 | 14 | 10 | 1.3 | \ | 6.1 | 2.7 | 2.1 | 0.83 | 14,924 |
| フランス | 4.6 | 22 | 14 | 10 | 1.2 | 7.7 | \ | 4.1 | 2.3 | 0.75 | 11,933 |
| カナダ | 11 | 11 | 19 | 6.4 | 1.4 | 4 | 4.8 | \ | 2 | 0.93 | 10,271 |
| 日本 | 8.7 | 7 | 11 | 4.6 | 1.2 | 3.4 | 3 | 2.3 | \ | 2 | 9,014 |
| 韓国 | 5.6 | 4.4 | 14 | 2.8 | 2.2 | 1.8 | 1.3 | 1.4 | 2.7 | \ | 6,897 |

b) 論文数上位機関 (世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021)

| 研究機関 | 国 | ランク | 論文数 | Top1%論文数 | Top10%論文数 |
|---|-------|-----|-------|----------|-----------|
| Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) | フランス | 1 | 5,553 | 86 | 687 |
| Ministry of Education & Science of Ukraine | ウクライナ | 2 | 2,943 | 10 | 106 |
| Helmholtz Association | ドイツ | 3 | 2,296 | 46 | 318 |
| Tsinghua University | 中国 | 4 | 2,189 | 30 | 286 |
| Imperial College London | 英国 | 5 | 1,983 | 45 | 340 |
| Zhejiang University | 中国 | 6 | 1,799 | 22 | 179 |
| Shanghai Jiao Tong University | 中国 | 7 | 1,792 | 19 | 233 |
| Xi'an Jiaotong University | 中国 | 8 | 1,746 | 23 | 199 |
| Harbin Institute of Technology | 中国 | 9 | 1,730 | 18 | 146 |
| Beihang University | 中国 | 10 | 1,720 | 21 | 166 |
| University of Tokyo | 日本 | 28 | 1,144 | 8 | 87 |

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数 (2017-2021)

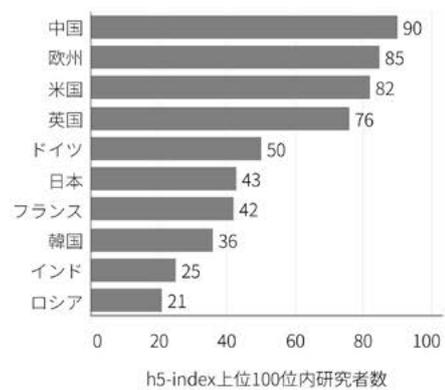
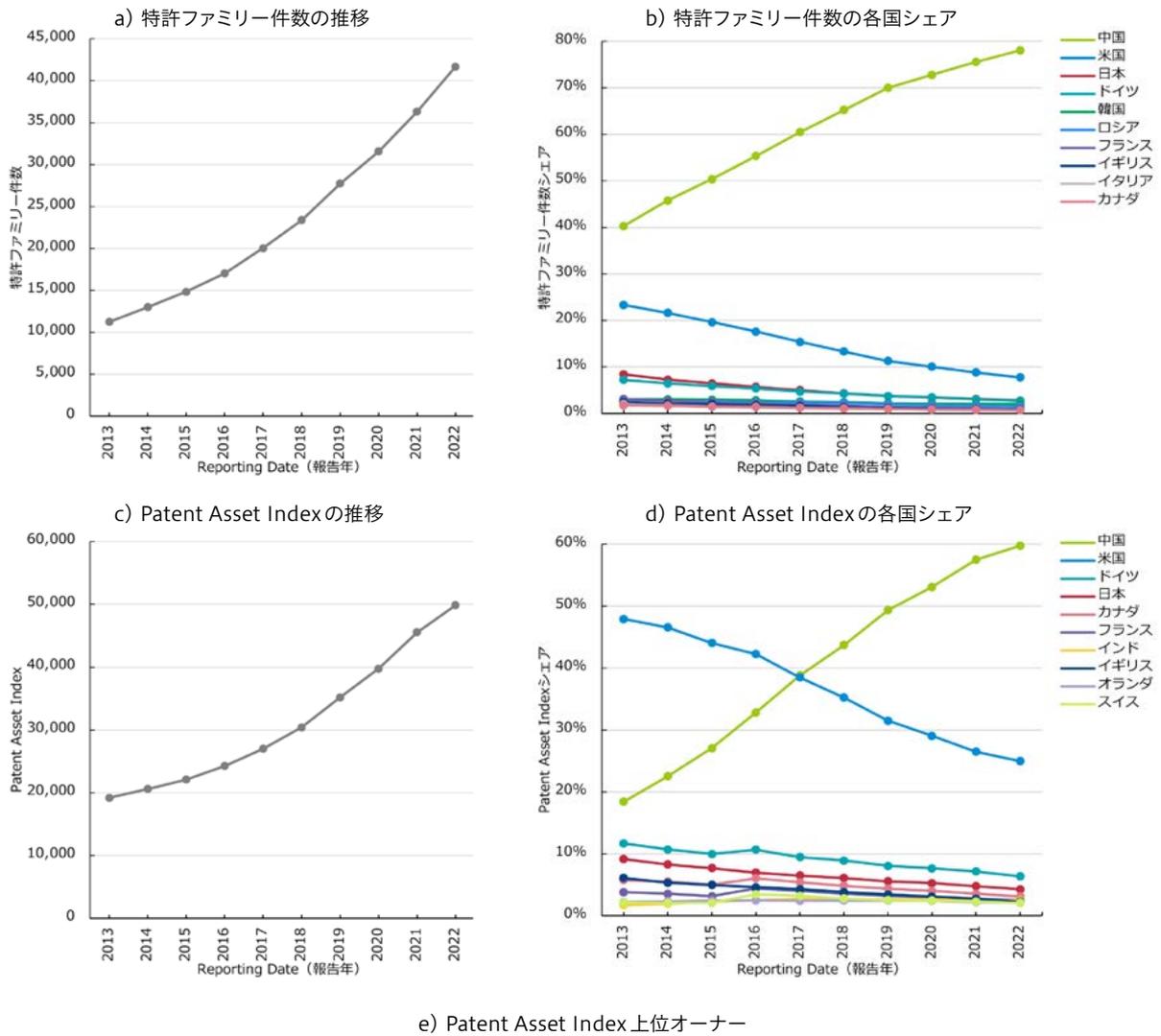


図 3.1-S7.1-3 数理モデリング領域における論文数の動向③



e) Patent Asset Index 上位オーナー

| オーナー | Patent Asset Index | 特許ファミリー件数 |
|--|--------------------|-----------|
| State Grid Corp | 1 787 | 2 096 |
| Harvard | 953 | 9 |
| MIT | 950 | 9 |
| Broad Institute | 942 | 4 |
| Chinese Academy of Sciences | 676 | 767 |
| Beihang University | 534 | 489 |
| Bristol-Myers Squibb | 512 | 4 |
| Ono Pharmaceutical | 489 | 1 |
| China Southern Power | 418 | 569 |
| Nanjing University of Aeronautics and Astronautics | 401 | 431 |

図 3.1-S7.1-4 数理モデリング領域における特許数の動向

3.1.S7.2 数値解析・データ解析

領域の定義

自然・生命・社会現象を主として物理法則に基づいて記述した数理モデルを、コンピューターを用いて計算するための構造的な数学研究を行う領域を数値解析と呼ぶ。狭義には、微分方程式などの連続数理モデルに対するアルゴリズムの研究が数値解析¹⁾である。シミュレーションを通じて各現象を研究する領域を数値解析と呼ぶこともある。データ解析は、現象の観測を通じて得られるデータから、その現象の特徴を抽出し、現象の背後にあるメカニズムを理解するための方法の開発と応用を行う領域である。数理モデルはデータ駆動（解析）により構築されるのが標準的であり、その点で、数値解析とデータ解析は現象の相補的な解析方法であるとも言える。

ポイント

- ・ 論文数について、中国が顕著に増えているが、2018年以降欧州すら越えている。また、インドの台頭が目立つ。Top1%、10%についても同様。(図3.1-S7.2-1 b)、図3.1-S7.2-2 c)、d))
- ・ 相対被引用度 (CNCI) について、英国やドイツ、フランスの高い値を保っている。欧州としてはそれほど高くない。一方、中国やインドなどは1より低いが右肩上がりではある。(図3.1-S7.2-2 e))
- ・ 各国間の共著率について、中国は米国との割合が多く、米国は中国1位欧州2位で、英国は欧州との割合が多めながら米国や中国とも多い。ドイツやフランスは欧州1位、米国2位、英国3位。インドは、米国との割合が多め。対して日本は中国との割合が多めながら米国や欧州とも多い。(図3.1-S7.2-3 a))
- ・ 論文数上位機関について、フランスCNRSがトップである。また、中国は8機関が10位以内だが、インドは入っていない。(図3.1-S7.2-3 b))
- ・ 特許ファミリー件数については中国がシェアを拡大しており、Patent Asset Indexのシェアも2017年に米国を超えている。米国や日本は相対的にシェアを落としている。イスラエルは特許ファミリー件数のシェアは10位以内ではないが、Patent Asset Indexのシェアは10位以内である。(図3.1-S7.2-4 b)、d))

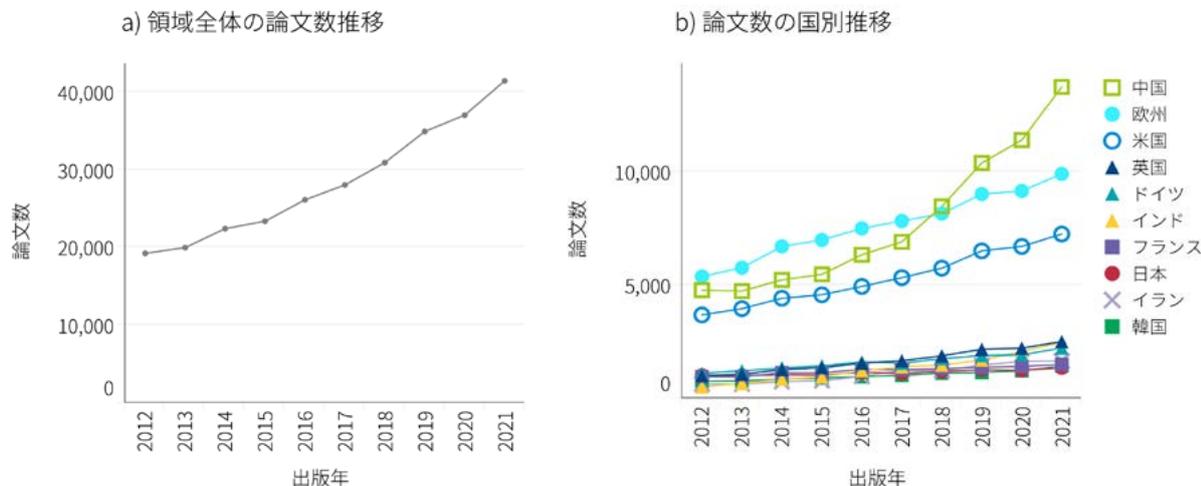


図3.1-S7.2-1 数値解析・データ解析領域における論文数の動向①

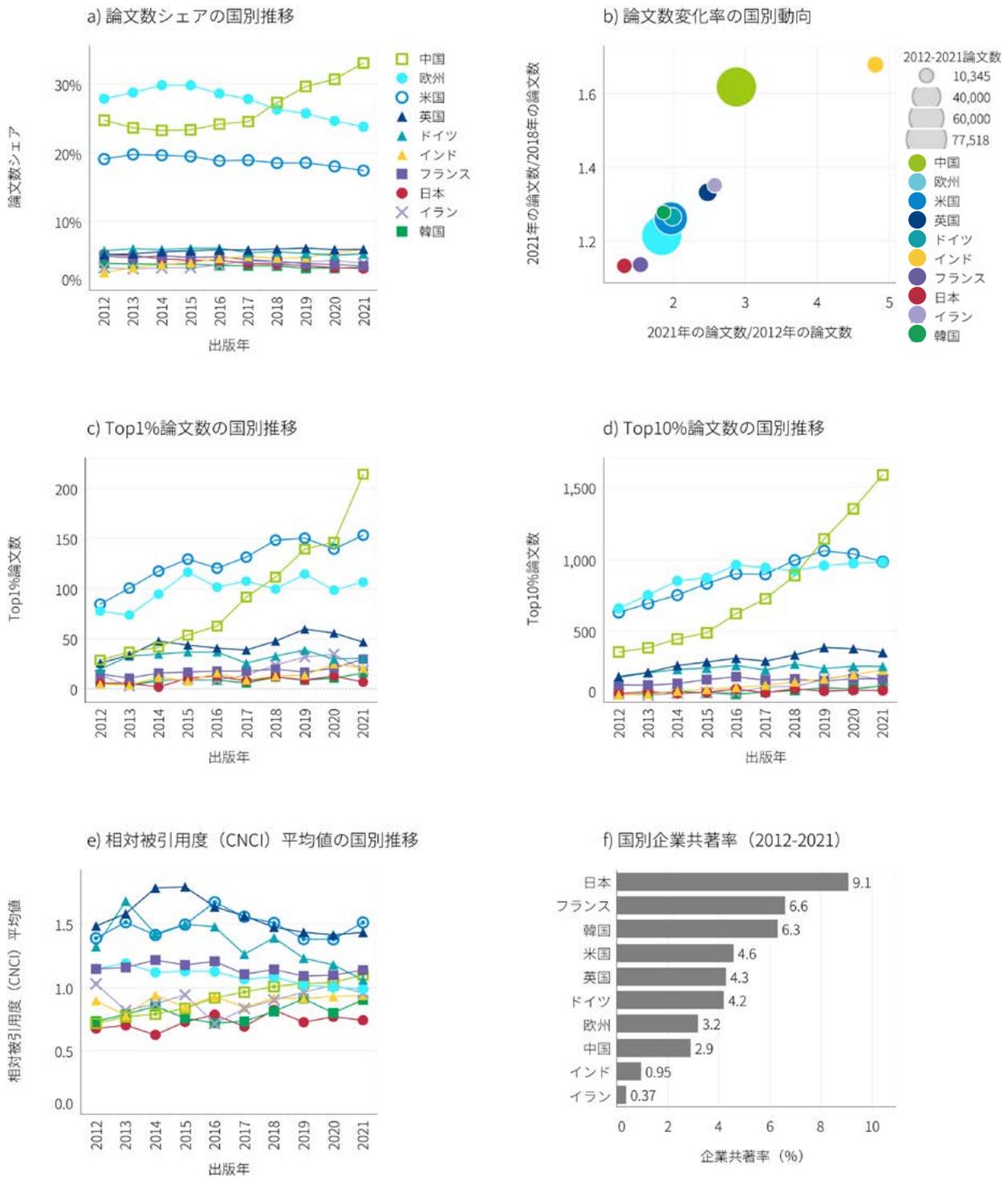


図 3.1-S7.2-2 数値解析・データ解析領域における論文数の動向②

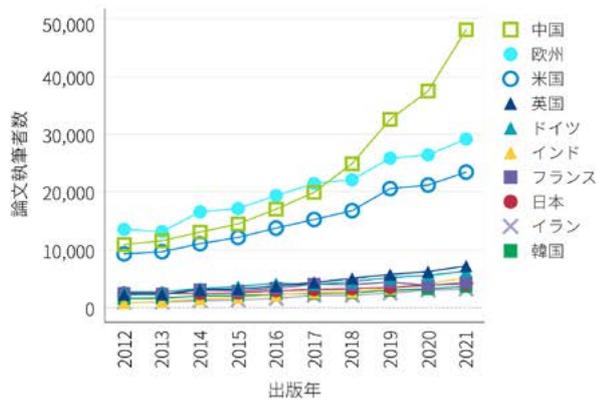
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

| (%) | 中国 | 欧州 | 米国 | 英国 | ドイツ | インド | フランス | 日本 | 韓国 | カナダ | 論文数 (件) |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|------------|
| 中国 | \ | 2.7 | 9.8 | 3.2 | 1.2 | 0.3 | 0.98 | 1.3 | 0.75 | 1.6 | 79,169 |
| 欧州 | 3.9 | \ | 10 | 7.7 | 6.7 | 0.96 | 5.2 | 1.1 | 0.63 | 2 | 54,611 |
| 米国 | 15 | 10 | \ | 5.1 | 4.1 | 1.5 | 2.9 | 1.5 | 2.4 | 3.4 | 53,215 |
| 英国 | 15 | 25 | 16 | \ | 9.2 | 2.3 | 6.4 | 2 | 1.4 | 3.9 | 16,844 |
| ドイツ | 6 | 22 | 13 | 9.5 | \ | 1.6 | 5.5 | 1.8 | 1.4 | 2.7 | 16,229 |
| インド | 1.7 | 3.9 | 5.7 | 2.9 | 1.9 | \ | 1.3 | 0.79 | 1.1 | 1.1 | 13,469 |
| フランス | 6.2 | 23 | 12 | 8.6 | 7.2 | 1.4 | \ | 1.9 | 0.87 | 3.8 | 12,503 |
| 日本 | 8.7 | 5.4 | 6.8 | 2.9 | 2.5 | 0.92 | 2 | \ | 2.2 | 1.3 | 11,579 |
| 韓国 | 5.7 | 3.3 | 12 | 2.3 | 2.1 | 1.5 | 1.1 | 2.5 | \ | 1.1 | 10,345 |
| カナダ | 14 | 12 | 20 | 7.5 | 4.9 | 1.7 | 5.4 | 1.7 | 1.3 | \ | 8,786 |

b) 論文数上位機関 (世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021)

| 研究機関 | 国 | ランク | 論文数 | Top1%論文数 | Top10%論文数 |
|---|------|-----|-------|----------|-----------|
| Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) | フランス | 1 | 6,386 | 89 | 813 |
| Tsinghua University | 中国 | 2 | 2,615 | 88 | 400 |
| Harbin Institute of Technology | 中国 | 3 | 2,467 | 19 | 282 |
| Xi'an Jiaotong University | 中国 | 4 | 2,466 | 24 | 274 |
| Shanghai Jiao Tong University | 中国 | 5 | 2,412 | 32 | 288 |
| Zhejiang University | 中国 | 6 | 2,029 | 32 | 217 |
| Islamic Azad University | イラン | 7 | 2,005 | 48 | 227 |
| University of Chinese Academy of Sciences, CAS | 中国 | 8 | 2,001 | 49 | 270 |
| Tongji University | 中国 | 9 | 1,911 | 38 | 216 |
| Dalian University of Technology | 中国 | 10 | 1,858 | 21 | 190 |
| University of Tokyo | 日本 | 21 | 1,343 | 21 | 133 |

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数 (2017-2021)

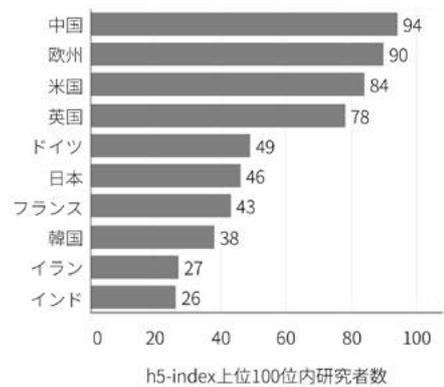


図 3.1-S7.2-3 数値解析・データ解析領域における論文数の動向③

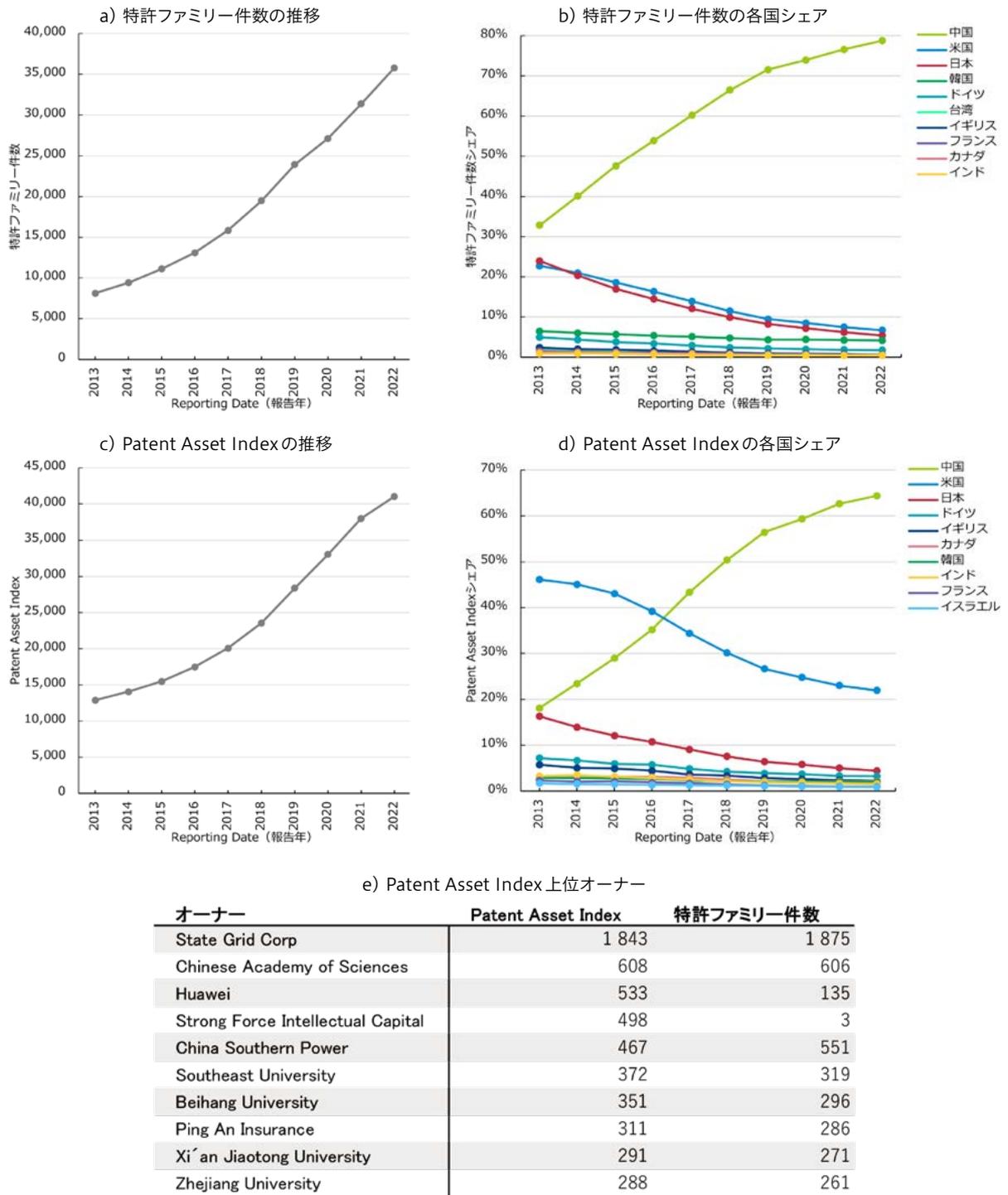


図3.1-S7.2-4 数値解析・データ解析領域における特許数の動向

3.1.S7.3 因果推論

領域の定義

因果推論とは、物事や事象が起こる因果を調べるための数学的・統計学的方法論である。さらに、問題とする課題に対して、数理科学的に述べられた因果関係の推定・理解により課題解決を目指して意思決定を支援する手法を提示するための研究領域である。数学的方法論としては、a) 因果性に関するさまざまな概念を記述するための数理的枠組みづくり、b) その枠組みにおいて定式化された因果的特性がどのような仮定の下でデータから推定可能か、c) 推定可能であるなら、どうすれば精度よく推定できるか、そして、d) 仮定の妥当性をどう検討するか等に関する研究開発が含まれる。さらに、それらの方法論により領域知識とデータを組み合わせて因果関係等を調べることにより、科学や社会（経済、金融、保険など）における課題解決のための意思決定支援を行うことが含まれる。

ポイント

- 論文数について、中国が顕著に増えていて、2018年以降英国を超えて3位だが、米国が圧倒的に1位を保持し続けている。Top1%、10%については中国は伸びているものの、3位の英国を超えられていない。(図3.1-S7.3-1 b)、図3.1-S7.3-2 c)、d))
- 相対被引用度 (CNCI) について、英国やフランスに加えて欧州としても高い値を保っている。一方、米国は中位である。中国は1前後だが、論文数10位までの国では最下位である。(図3.1-S7.3-2 e))
- 各国間の共著率について、米国は欧州1位、英国2位、カナダ3位。中国は米国との割合が多く、英国は欧州1位、米国2位、フランスは欧州1位、米国2位、英国3位。対して日本は米国との割合が多めながら欧州や英国とも多い。(図3.1-S7.3-3 a))
- 論文数上位機関について、米国6機関が10位以内だが、中国は入っていない。(図3.1-S7.3-3 b))
- 特許ファミリー件数については中国がシェアを拡大しており、Patent Asset Indexのシェアも2019年に米国を超えている。米国は相対的にシェアを落としている。スイス、ロシア、オランダは特許ファミリー件数のシェアは10位以内ではないが、Patent Asset Indexのシェアは10位以内である。マルタは説明可能AI関連の企業の所在地であり、2021年から急にシェアを拡大している。(図3.1-S7.3-4 b) d))

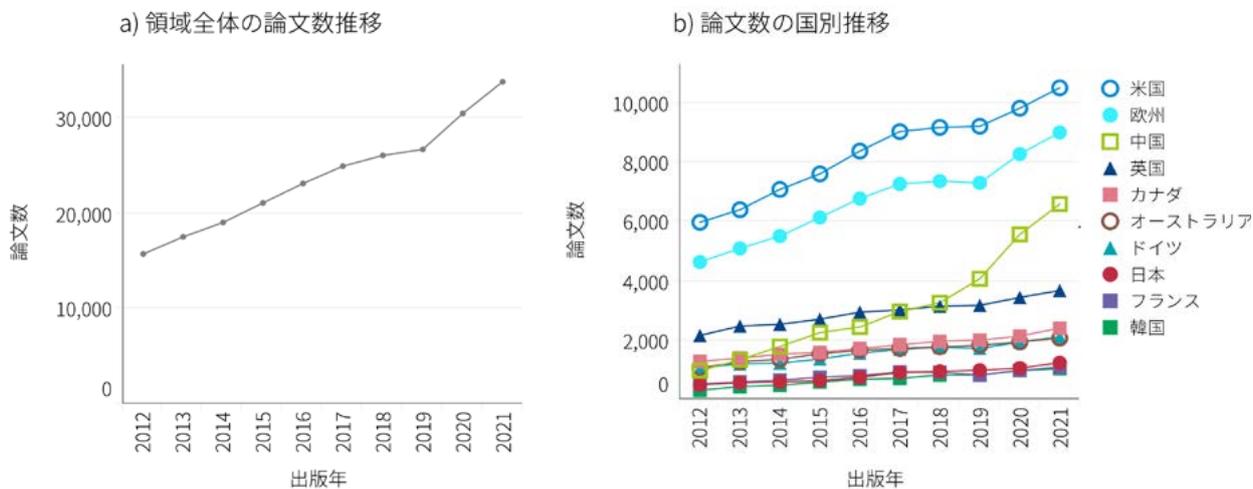


図3.1-S7.3-1 因果推論領域における論文数の動向①

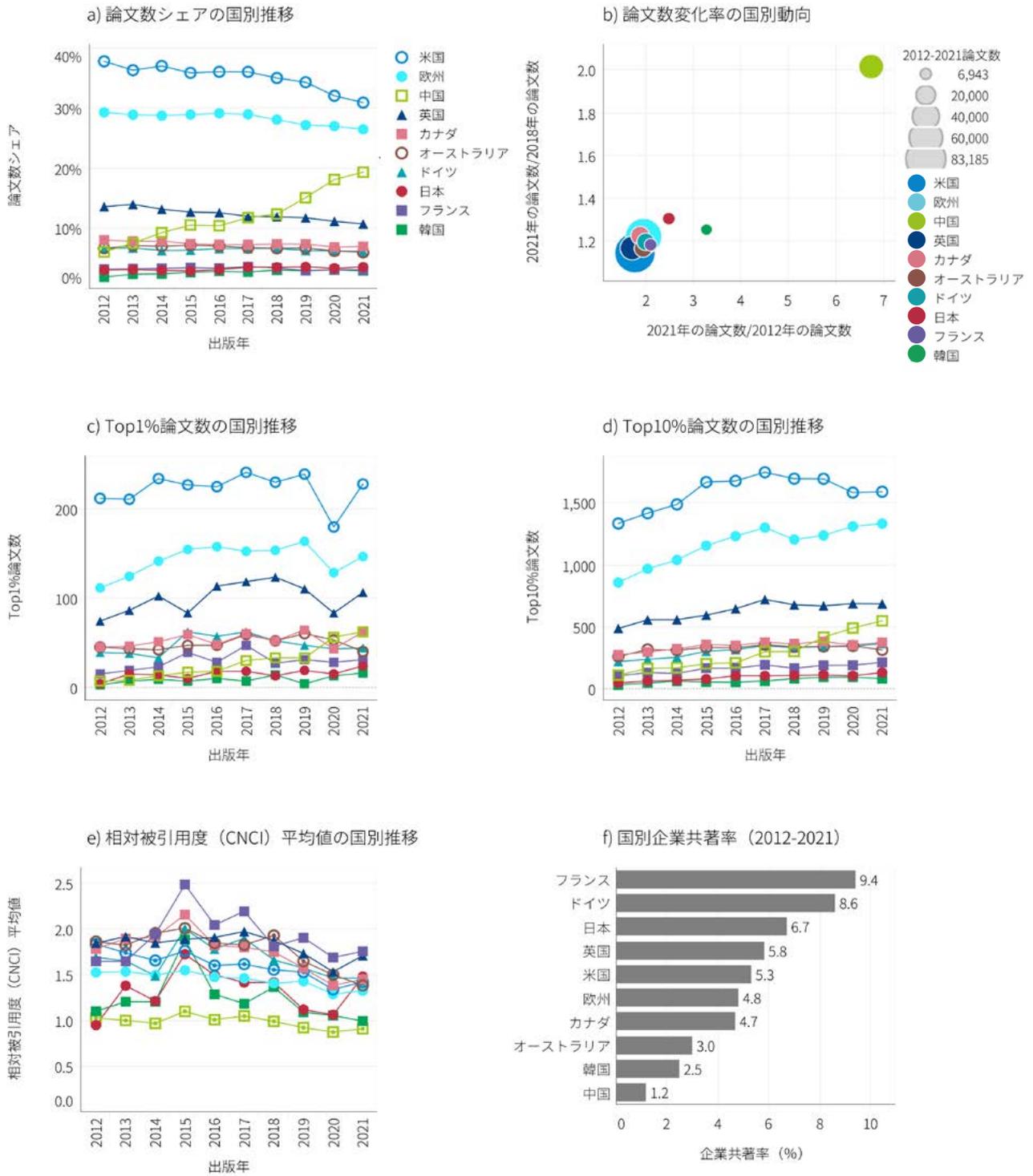


図 3.1-S7.3-2 因果推論領域における論文数の動向②

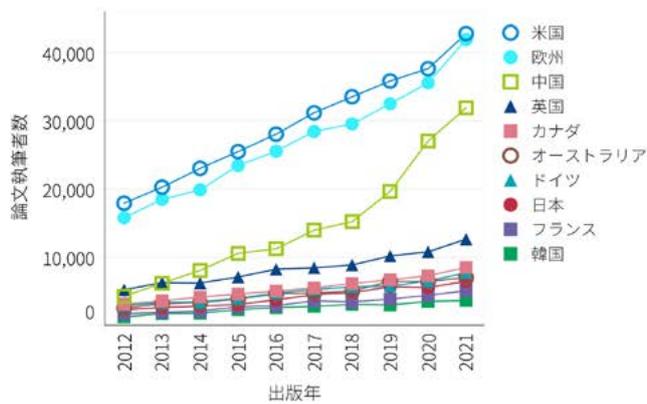
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

| (%) | 米国 | 欧州 | 中国 | 英国 | カナダ | ドイツ | 日本 | フランス | 韓国 | インド | 論文数 (件) |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------------|
| 米国 | \ | 12 | 4.7 | 8 | 6.9 | 4.3 | 1.5 | 2.6 | 1.2 | 1.1 | 83,193 |
| 欧州 | 19 | \ | 2.5 | 16 | 5.8 | 9.6 | 1.3 | 5.6 | 0.63 | 0.86 | 51,610 |
| 中国 | 12 | 3.8 | \ | 4 | 2.3 | 1.6 | 1.1 | 0.79 | 0.77 | 0.53 | 33,275 |
| 英国 | 23 | 29 | 4.5 | \ | 8.6 | 9.3 | 1.7 | 6.2 | 0.87 | 1.9 | 29,332 |
| カナダ | 32 | 17 | 4.3 | 14 | \ | 6.4 | 1.8 | 5.5 | 1.1 | 1.5 | 17,918 |
| ドイツ | 23 | 31 | 3.5 | 17 | 7.2 | \ | 2.1 | 8.4 | 1.2 | 0.94 | 15,700 |
| 日本 | 15 | 7.9 | 4.5 | 6.1 | 3.9 | 4 | \ | 2.9 | 2.6 | 1.2 | 8,249 |
| フランス | 27 | 35 | 3.2 | 22 | 12 | 16 | 3 | \ | 1.4 | 1.3 | 8,134 |
| 韓国 | 15 | 4.7 | 3.7 | 3.7 | 2.7 | 2.6 | 3.1 | 1.7 | \ | 1.3 | 6,943 |
| インド | 19 | 9.1 | 3.6 | 11 | 5.6 | 3 | 2 | 2.2 | 1.8 | \ | 4,868 |

b) 論文数上位機関 (世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021)

| 研究機関 | 国 | ランク | 論文数 | Top1%論文数 | Top10%論文数 |
|--|---------|-----|-------|----------|-----------|
| Harvard University | 米国 | 1 | 8,640 | 381 | 2,365 |
| University of Toronto | カナダ | 2 | 5,223 | 181 | 1,139 |
| Harvard Medical School | 米国 | 3 | 4,605 | 191 | 1,233 |
| Johns Hopkins University | 米国 | 4 | 3,762 | 173 | 956 |
| US Department of Veterans Affairs | 米国 | 5 | 3,738 | 131 | 807 |
| Veterans Health Administration (VHA) | 米国 | 6 | 3,648 | 125 | 789 |
| University College London | 英国 | 7 | 3,543 | 148 | 906 |
| University of Sydney | オーストラリア | 8 | 3,139 | 128 | 735 |
| Institut National de la Sante et de la Recherche Medicale (Inserm) | フランス | 9 | 3,111 | 115 | 671 |
| University of Pennsylvania | 米国 | 10 | 3,042 | 116 | 748 |
| University of Tokyo | 日本 | 145 | 815 | 18 | 116 |

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数 (2017-2021)

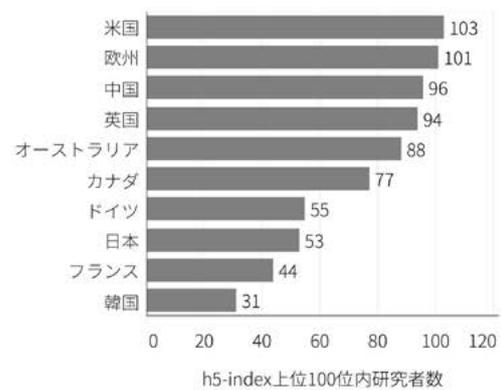
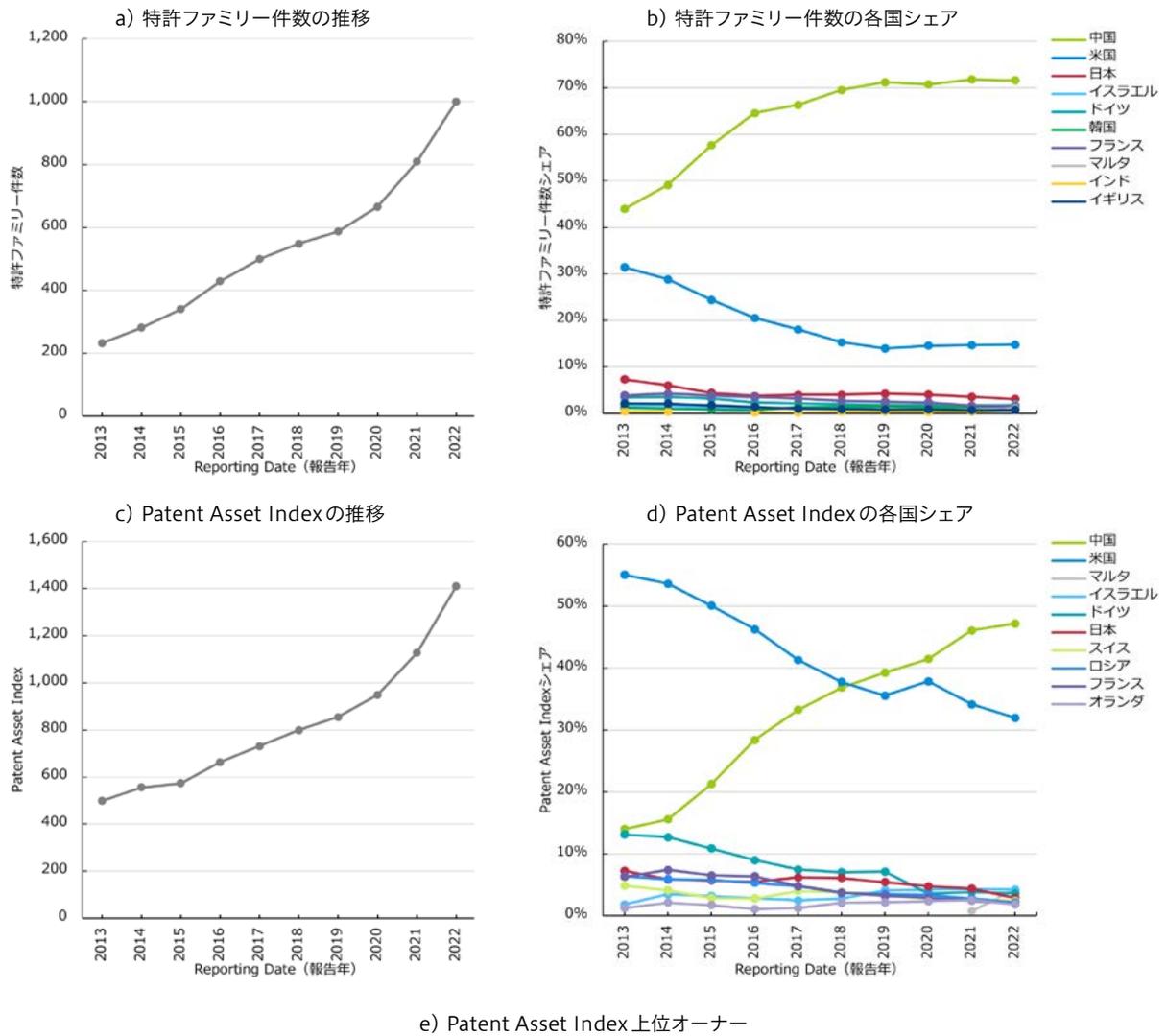


図 3.1-S7.3-3 因果推論領域における論文数の動向③



e) Patent Asset Index 上位オーナー

| オーナー | Patent Asset Index | 特許ファミリー件数 |
|---------------------------------------|--------------------|-----------|
| Umnai | 60 | 12 |
| GUANGZHOU AIBORUN MEDICAL TECH | 38 | 1 |
| JIANGSU BETTERLIFE MEDICAL | 38 | 1 |
| Astellas Pharma | 33 | 1 |
| Insightec | 30 | 5 |
| Caterpillar | 28 | 2 |
| INFERVISION MEDICAL TECHNOLOGY CO LTD | 28 | 1 |
| Accuray | 26 | 1 |
| HeartFlow | 24 | 2 |
| XIAMEN BRANA DESIGN | 22 | 1 |

図 3.1-S7.3-4 因果推論領域における特許数の動向

3.1.S7.4 意思決定と最適化の数理

領域の定義

人間が合理的な意思決定を行うための数理的手法の開発。標語的には「意思決定のための最適化と予測」の数理科学である。予測と最適化の基盤・背景となる数理モデル、最適化法、シミュレーション手法、ネットワークモデル、確率モデル、ゲーム理論の一部が含まれる。技術開発の基盤となる理論構築のみならず、実際の現場における応用も目指す。

ポイント

- ・ 論文数について、中国が顕著に増えていて、2017年以降欧州すら超えている。イランとインドの台頭が目立つ。Top1%、10%についても概ね同様である。(図3.1-S7.4-1 b)、図3.1-S7.4-2 c)、d))
- ・ 相対被引用度 (CNCI) について、米国や英国、イランが高い値を保っている。欧州としてはそれほど高くない。中国が右肩上がり、インドは1前後ながら中位で伸びていない。(図3.1-S7.4-2 e))
- ・ 各国間の共著率について、中国は米国との割合が多く、米国は中国1位、欧州2位、インドは米国と欧州の割合が多い。英国は中国と欧州に次いで米国が多い。対して日本は中国との割合が多め。(図3.1-S7.4-3 a))
- ・ 論文数上位機関について、フランスCNRSがトップ。イランが2位と4位にある一方、インドは10位以内に入っていない。中国は6機関が10位以内に入っている。(図3.1-S7.4-3 b))
- ・ 特許ファミリー件数については中国がシェアを拡大しており、Patent Asset Indexのシェアも2017年に米国を超えている。米国は相対的にシェアを落としている。イスラエルは特許ファミリー件数のシェアは10位以内ではないが、Patent Asset Indexのシェアは10位以内である。(図3.1-S7.4-4 b)、d))

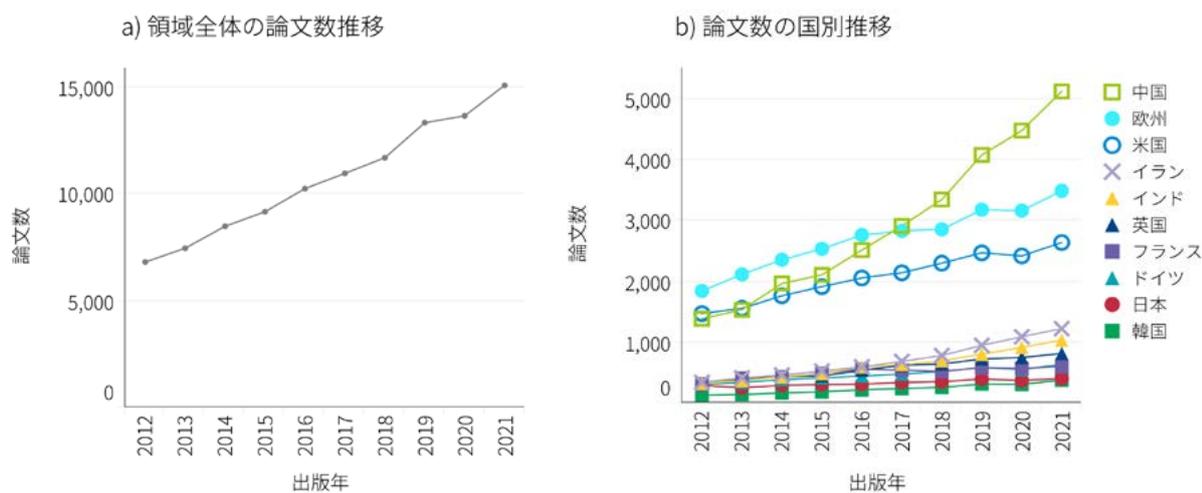


図3.1-S7.4-1 意思決定と最適化の数理領域における論文数の動向①

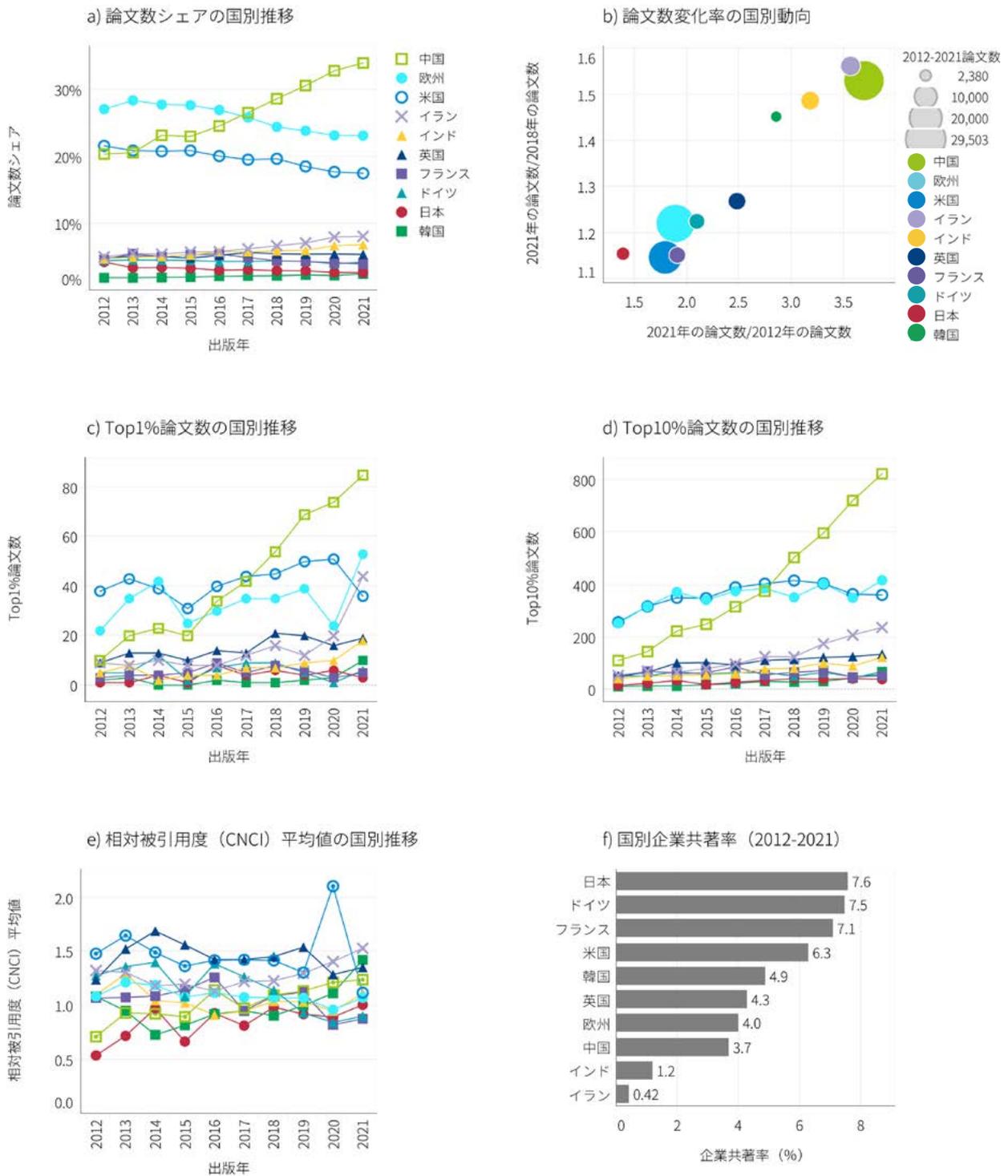


図 3.1-S7.4-2 意思決定と最適化の数理領域における論文数の動向②

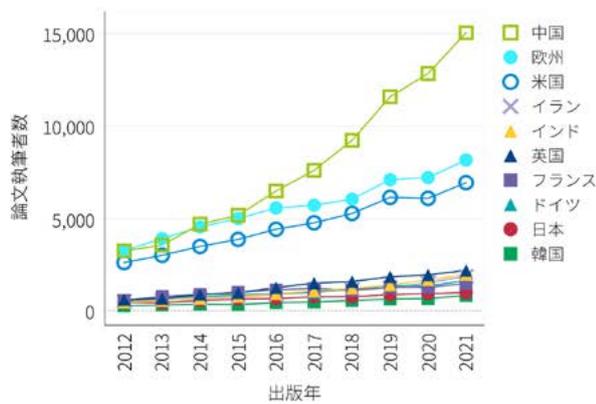
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

| (%) | 中国 | 米国 | 欧州 | インド | 英国 | フランス | カナダ | ドイツ | 日本 | 韓国 | 論文数 (件) |
|------|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|------------|
| 中国 | \ | 11 | 3.4 | 0.57 | 4.3 | 1.1 | 2.9 | 0.66 | 1.4 | 0.97 | 30,296 |
| 米国 | 16 | \ | 8.5 | 1.8 | 3.5 | 1.9 | 3.5 | 2.5 | 1.2 | 1.9 | 20,783 |
| 欧州 | 5.3 | 9.1 | \ | 1.3 | 6.2 | 4.9 | 2.5 | 4.7 | 0.93 | 0.54 | 19,427 |
| インド | 2.7 | 5.8 | 4.1 | \ | 2.3 | 1.2 | 1.3 | 0.85 | 0.62 | 1.6 | 6,326 |
| 英国 | 23 | 13 | 21 | 2.5 | \ | 4 | 3.5 | 4.8 | 1.3 | 0.89 | 5,717 |
| フランス | 6.6 | 7.8 | 19 | 1.5 | 4.5 | \ | 3.5 | 3.9 | 1.5 | 0.65 | 5,053 |
| カナダ | 18 | 15 | 9.9 | 1.6 | 4 | 3.5 | \ | 2.5 | 1.3 | 1.2 | 4,984 |
| ドイツ | 4.3 | 11 | 19 | 1.2 | 5.9 | 4.2 | 2.7 | \ | 1.1 | 0.34 | 4,694 |
| 日本 | 13 | 7.3 | 5.4 | 1.2 | 2.2 | 2.2 | 2 | 1.6 | \ | 1.6 | 3,351 |
| 韓国 | 12 | 16 | 4.4 | 4.2 | 2.1 | 1.4 | 2.5 | 0.67 | 2.2 | \ | 2,380 |

b) 論文数上位機関 (世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021)

| 研究機関 | 国 | ランク | 論文数 | Top1%論文数 | Top10%論文数 |
|---|------|-----|-------|----------|-----------|
| Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) | フランス | 1 | 1,923 | 17 | 223 |
| Islamic Azad University | イラン | 2 | 1,591 | 43 | 273 |
| Tsinghua University | 中国 | 3 | 1,328 | 18 | 255 |
| University of Tehran | イラン | 4 | 986 | 26 | 252 |
| Shanghai Jiao Tong University | 中国 | 5 | 848 | 13 | 139 |
| Huazhong University of Science & Technology | 中国 | 6 | 835 | 20 | 196 |
| Xidian University | 中国 | 7 | 783 | 8 | 116 |
| Zhejiang University | 中国 | 8 | 742 | 9 | 110 |
| North China Electric Power University | 中国 | 9 | 741 | 3 | 92 |
| Massachusetts Institute of Technology (MIT) | 米国 | 10 | 710 | 29 | 172 |
| University of Tokyo | 日本 | 65 | 349 | 5 | 26 |

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数 (2017-2021)

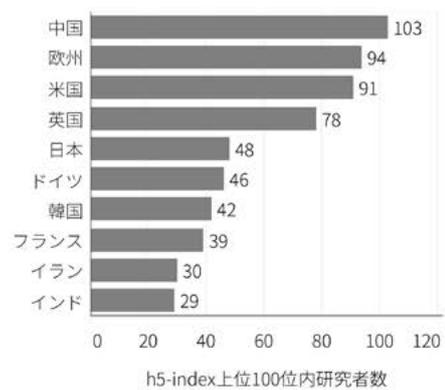
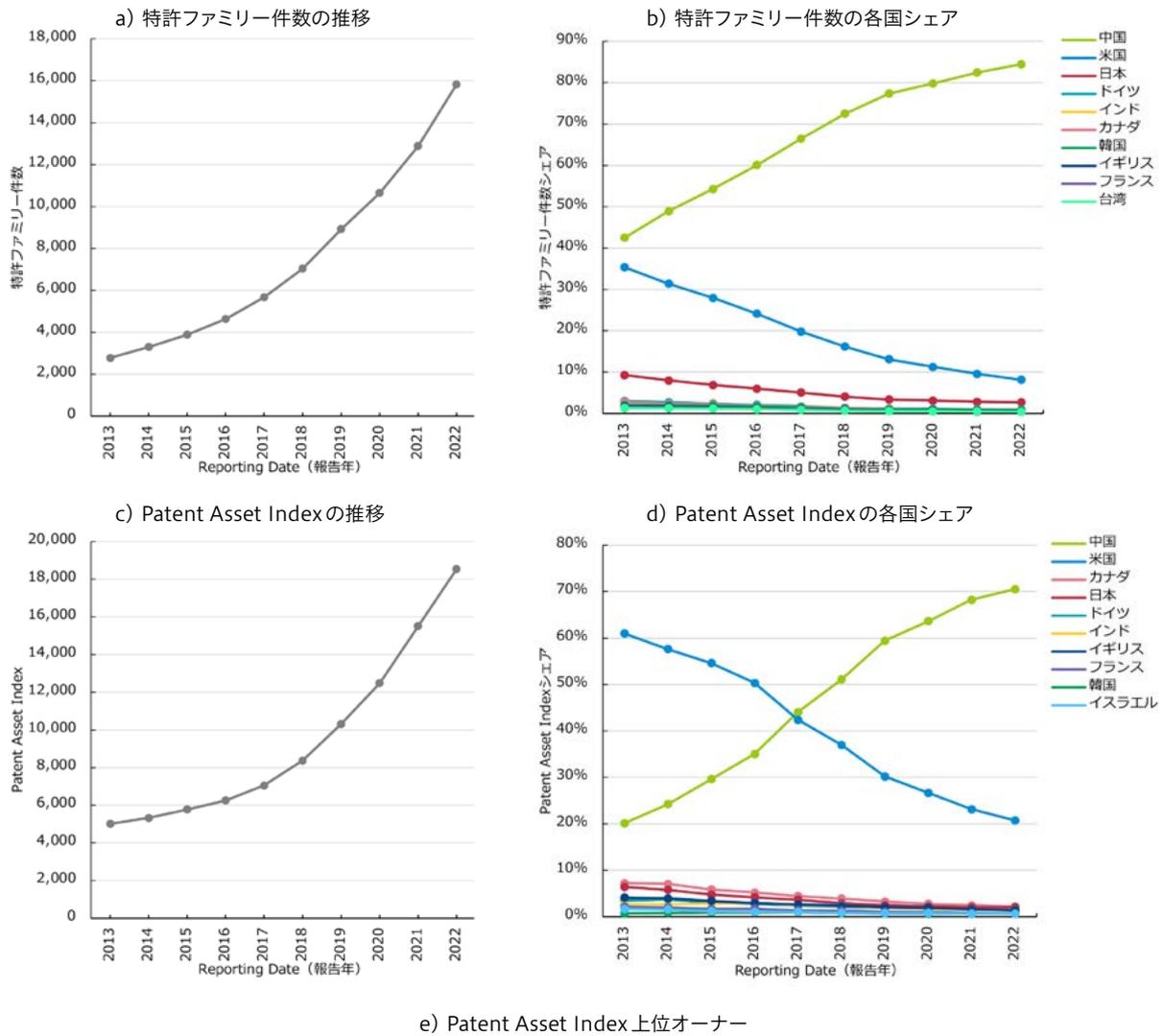


図3.1-S7.4-3 意思決定と最適化の数理領域における論文数の動向③



e) Patent Asset Index 上位オーナー

| オーナー | Patent Asset Index | 特許ファミリー件数 |
|--|--------------------|-----------|
| State Grid Corp | 1 393 | 1 510 |
| Strong Force Intellectual Capital | 409 | 3 |
| Southeast University | 324 | 322 |
| China Southern Power | 321 | 397 |
| Tsinghua University (China) | 300 | 245 |
| Chinese Academy of Sciences | 268 | 264 |
| Chongqing Univ. of Posts and Telecom. | 267 | 145 |
| Zhejiang University | 244 | 246 |
| South China University of Technology | 223 | 160 |
| Nanjing University of Aeronautics and Astronautics | 223 | 224 |

図 3.1-S7.4-4 意思決定と最適化の数理領域における特許数の動向

3.1.S7.5 計算理論

領域の定義

計算理論とは、チューリングマシンのように抽象化された計算を使って、計算のモデルやアルゴリズムを理論的に扱う研究開発領域である。それは計算複雑性理論や計算可能性理論を含んでいる。電子計算機が実現し、現実的なリソースでの計算可能性を明らかにする目的で、アルゴリズムの効率と実効的計算可能性を問う計算量理論が発達し、公開鍵暗号の安全性に貢献し、P対NP問題が注目を集めた。近年は、量子計算機の実現や利活用を目的とした量子計算モデルや量子計算量の研究が進められ、量子超越性、耐量子計算機暗号、量子誤り訂正符号などが研究されている。

ポイント

- 論文数について、中国が顕著に増えていて、2014年以降欧州すら超えている。インドの台頭が目立つ。Top1%、10%は2021年になってから中国が米国を越えて1位。インドについてはあまり目立たない。(図3.1-S7.5-1 b)、図3.1-S7.5-2 c)、d))
- 相対被引用度 (CNCI) について、米国や英国ドイツ、カナダが高い値を保っている。中国や日本が右肩上がりで、インドは1未満で最下位である。(図3.1-S7.5-2 e))
- 各国間の共著率について、中国は米国との割合が多く、米国は中国1位、欧州2位、インドは欧州1位米国2位、英国は中国と欧州に次いで米国が多い。対して日本は中国との割合が多め。(図3.1-S7.5-3 a))
- 論文数上位機関について、フランスCNRSがトップ。また、中国は7機関が10位以内だが、インドは10位以内に入っていない。シンガポールは国としては論文数10位以内に入っていないが、上位機関8位に南洋理工大 (Nanyang Technological University) が入っている。(図3.1-S7.5-3 b))
- 特許ファミリー件数については中国がシェアを拡大しており、2017年以降米国を超えている。Patent Asset Indexのシェアは2017年に中国が日本を超えているが、米国を超えられていない。日本は相対的にシェアを落としている。イスラエルは特許ファミリー件数のシェアは10位以内ではないが、Patent Asset Indexのシェアは10位以内である。(図3.1-S7.5-4 b)、d))

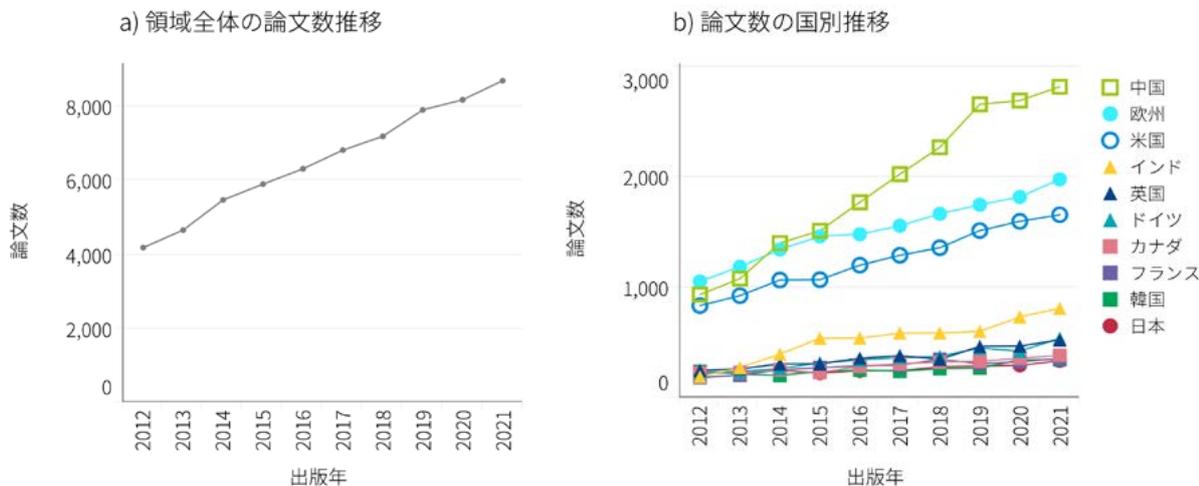


図 3.1-S7.5-1 計算理論領域における論文数の動向①

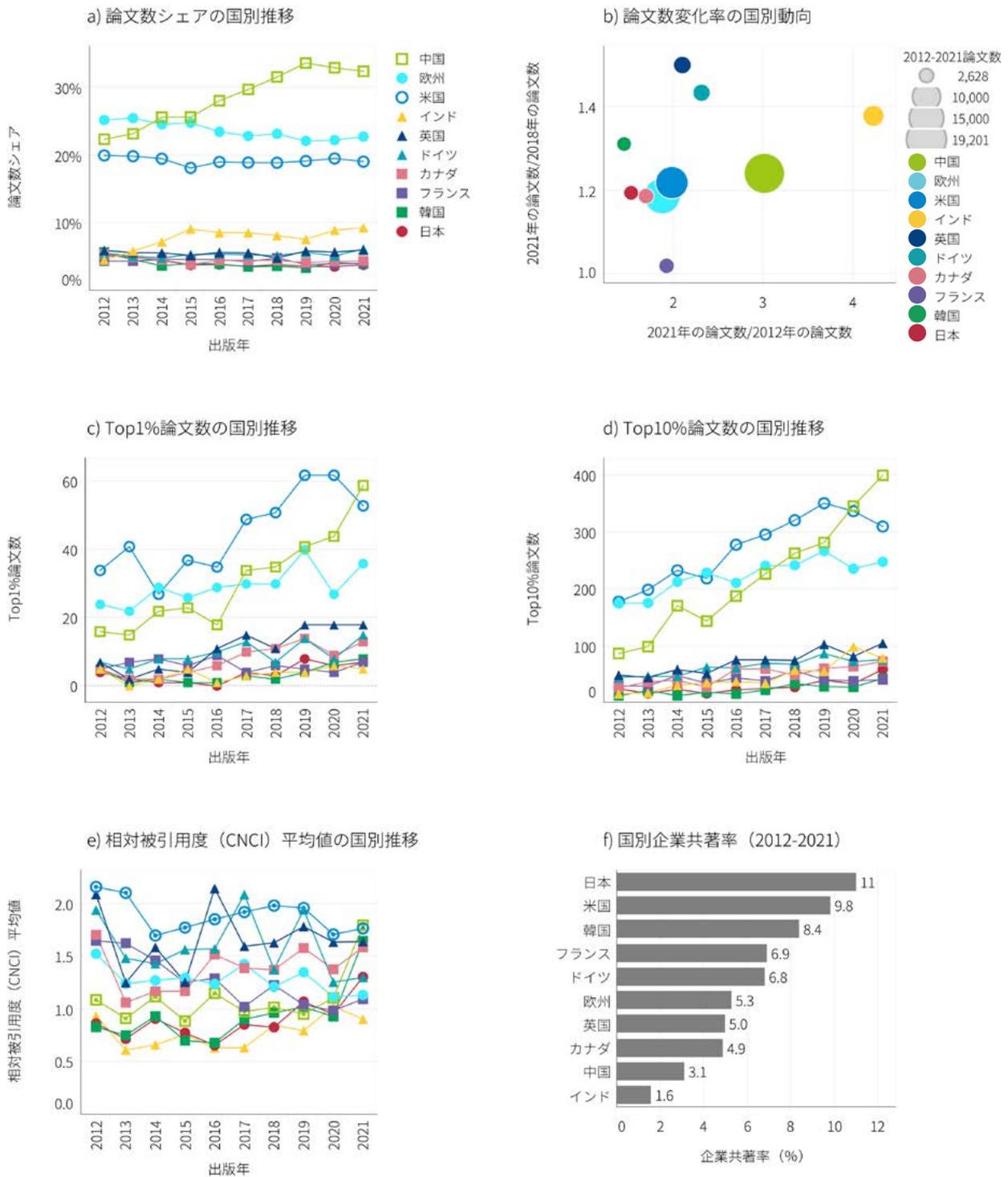


図 3.1-S7.5-2

計算理論領域における論文数の動向②

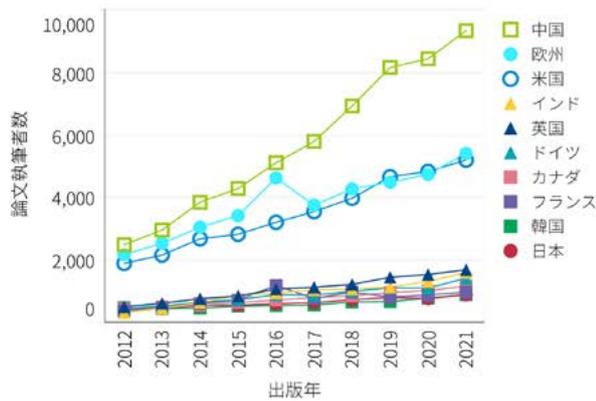
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

| (%) | 中国 | 米国 | 欧州 | インド | 英国 | ドイツ | カナダ | フランス | 韓国 | 日本 | 論文数 (件) |
|------|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|------------|
| 中国 | \ | 9.7 | 3 | 0.62 | 3.7 | 1 | 2.7 | 1.1 | 1.1 | 1.4 | 19,682 |
| 米国 | 15 | \ | 8.9 | 1.9 | 3.7 | 3.3 | 3.9 | 2.1 | 2.2 | 1.4 | 12,552 |
| 欧州 | 5.6 | 11 | \ | 1.8 | 6.8 | 7.3 | 2.7 | 5.4 | 0.8 | 1.6 | 10,339 |
| インド | 2.3 | 4.6 | 3.6 | \ | 1.8 | 0.83 | 1.3 | 0.96 | 1 | 0.43 | 5,284 |
| 英国 | 20 | 13 | 19 | 2.6 | \ | 7 | 3.8 | 5.8 | 0.95 | 2 | 3,698 |
| ドイツ | 5.6 | 11 | 21 | 1.2 | 7.2 | \ | 3.3 | 5.4 | 0.67 | 1.9 | 3,568 |
| カナダ | 18 | 17 | 9.5 | 2.3 | 4.8 | 3.9 | \ | 3.1 | 1.6 | 1.4 | 2,950 |
| フランス | 7.5 | 9.3 | 19 | 1.8 | 7.5 | 6.8 | 3.2 | \ | 0.84 | 2.1 | 2,863 |
| 韓国 | 8.3 | 11 | 3.2 | 2.1 | 1.3 | 0.91 | 1.8 | 0.91 | \ | 1.1 | 2,630 |
| 日本 | 11 | 6.6 | 6.3 | 0.88 | 2.8 | 2.6 | 1.6 | 2.2 | 1.1 | \ | 2,629 |

b) 論文数上位機関 (世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021)

| 研究機関 | 国 | ランク | 論文数 | Top1%論文数 | Top10%論文数 |
|--|--------|-----|-------|----------|-----------|
| Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) | フランス | 1 | 1,375 | 31 | 186 |
| Tsinghua University | 中国 | 2 | 960 | 35 | 170 |
| Xidian University | 中国 | 3 | 909 | 9 | 93 |
| University of Electronic Science & Technology of China | 中国 | 4 | 862 | 14 | 143 |
| Beijing University of Posts & Telecommunications | 中国 | 5 | 756 | 5 | 81 |
| Southeast University - China | 中国 | 6 | 619 | 15 | 94 |
| Massachusetts Institute of Technology (MIT) | 米国 | 7 | 613 | 42 | 212 |
| Nanyang Technological University | シンガポール | 8 | 605 | 15 | 123 |
| Shanghai Jiao Tong University | 中国 | 9 | 579 | 9 | 83 |
| Harbin Institute of Technology | 中国 | 10 | 544 | 9 | 59 |
| University of Tokyo | 日本 | 67 | 230 | 7 | 37 |

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数 (2017-2021)

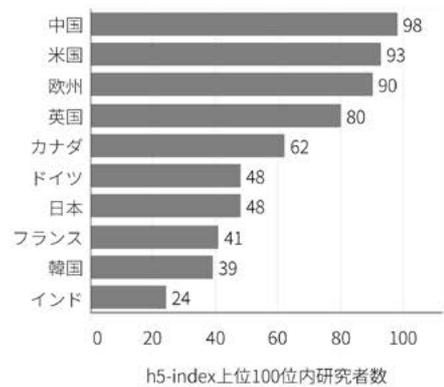


図 3.1-S7.5-3 計算理論領域における論文数の動向③

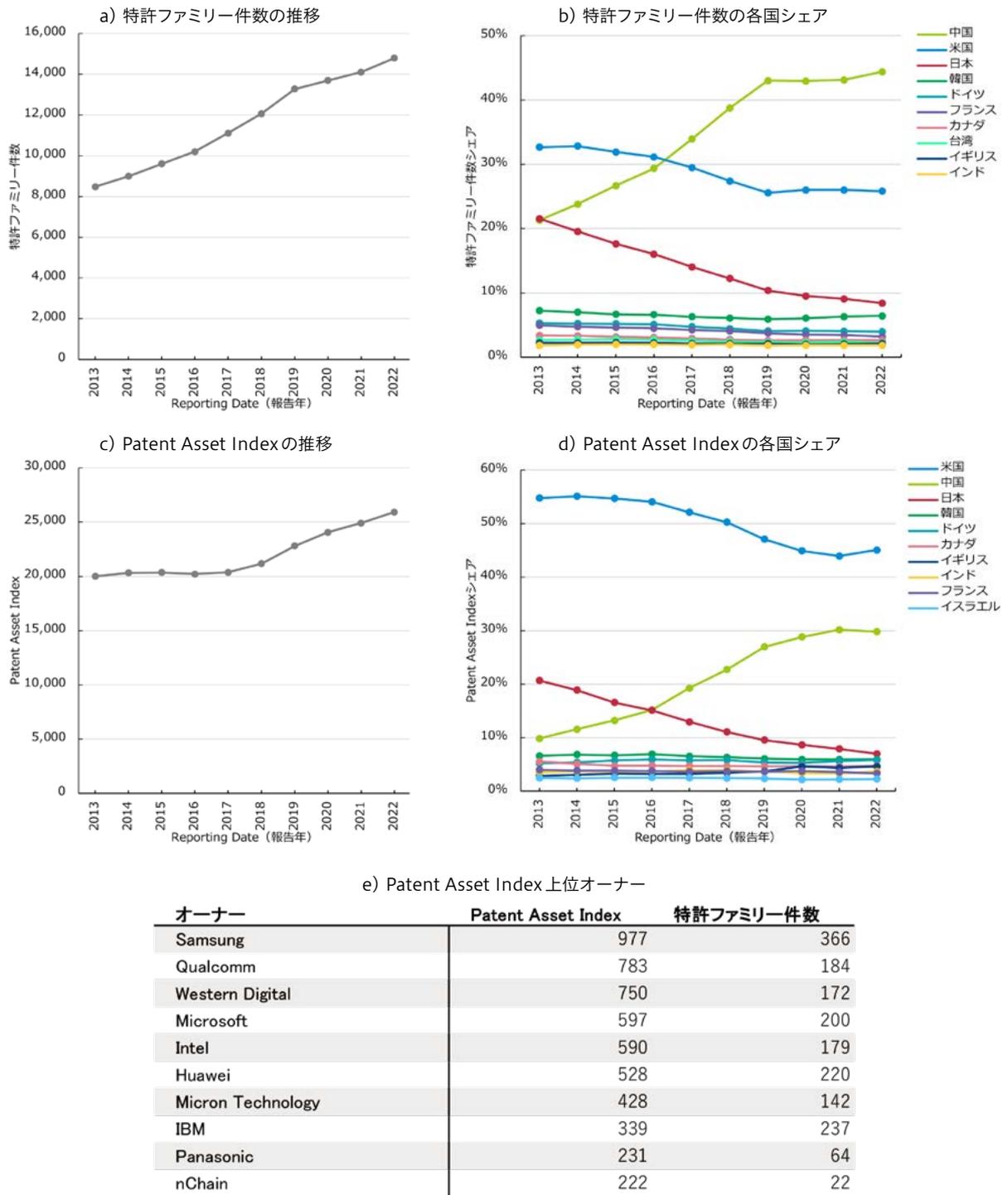


図3.1-S7.5-4 計算理論領域における特許数の動向

3.1.S7.6 システム設計の数理

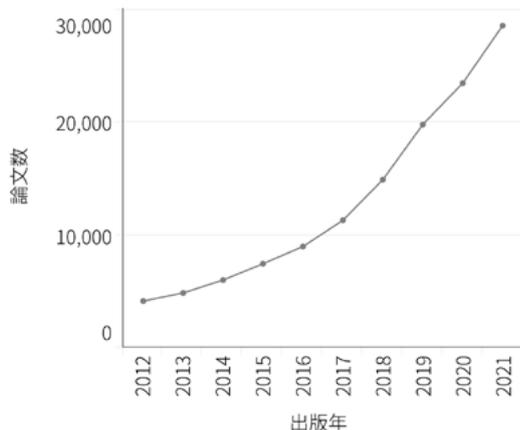
領域の定義

本領域は、各種のシステムを設計するための数理的な手法・技法およびその基盤となる数学理論の探求を行うことを目的とした領域である。システム設計のための数理的手法の要諦は、システムが望ましい性質を満たすことを証明する形式検証の営みであり、すなわち「証明を書く」営みである。これら手法の研究は主に以下の3点に注目する：(1) 対象システムを数学的議論に載せるための「定義」=モデリングの研究、(2) 証明自体の正当性をソフトウェアによって検証するための形式化の研究、(3) 証明構築の労力・コストを削減するための自動化の研究。対象となるシステムは拡大し続けており、コンピューターを中心とするシステム（ハードウェア、ソフトウェア、情報など）に加えて、IoTやCPSなど実世界の一部とともに構成されるシステムや、機械学習機能を有するシステム、さらに近年では量子コンピューターなども含まれるようになった。また、数理的手法が担う役割も広がっている。基本的にはシステムの「設計」を行うことが目標であるが、設計されたシステムを解析したり、所望の性質を有するかを検証したりすることも必要であり、実装、解析、検証のための数理的手法の探求も本領域に含まれる。ソフトウェア工学の観点では、数理的手法である「形式手法」を主に扱う。

ポイント

- ・ 論文数について、米国と中国（1位、3位）が顕著に増えているが、順位は一定。また、インド、英国の台頭が目立つ。Top1%、10%についても同様。（図3.1-S7.6-1 b）、図3.1-S7.6-2 c）、d）
- ・ 相対被引用度（CNCI）について、英国やカナダが高い値を保つ。中国が右肩上がり、インドは論文数10位以内の国の中では最下位（図3.1-S7.6-2 e）。
- ・ 各国間の共著率について、米国は中国1位、欧州2位、中国は米国との割合が多く、インドは米国1位、欧州2位。英国は欧州について米国と中国が多い。日本は米国と中国との割合が多め。（図3.1-S7.6-3 a）
- ・ 論文数上位機関について、フランスCNRSが1位。米国7機関、中国2機関が10位以内。（図3.1-S7.6-3 b）
- ・ 特許ファミリー件数シェアについて中国は2014年以降米国を超えているが、Patent Asset Indexのシェアは米国を超えられていない。米国は相対的にシェアを落としている。（図3.1-S7.6-4 b）d）

a) 領域全体の論文数推移



b) 論文数の国別推移

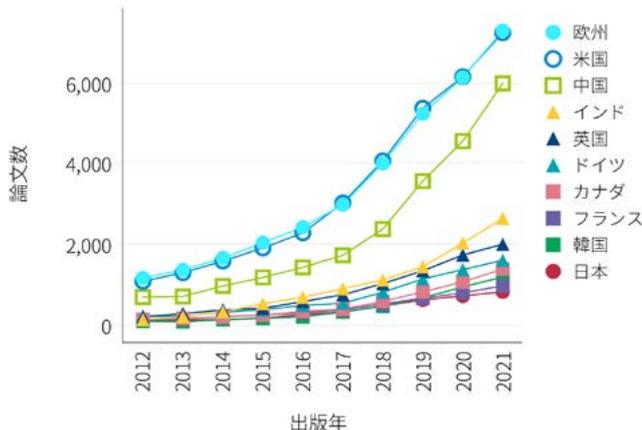


図3.1-S7.6-1 システム設計の数理領域における論文数の動向①

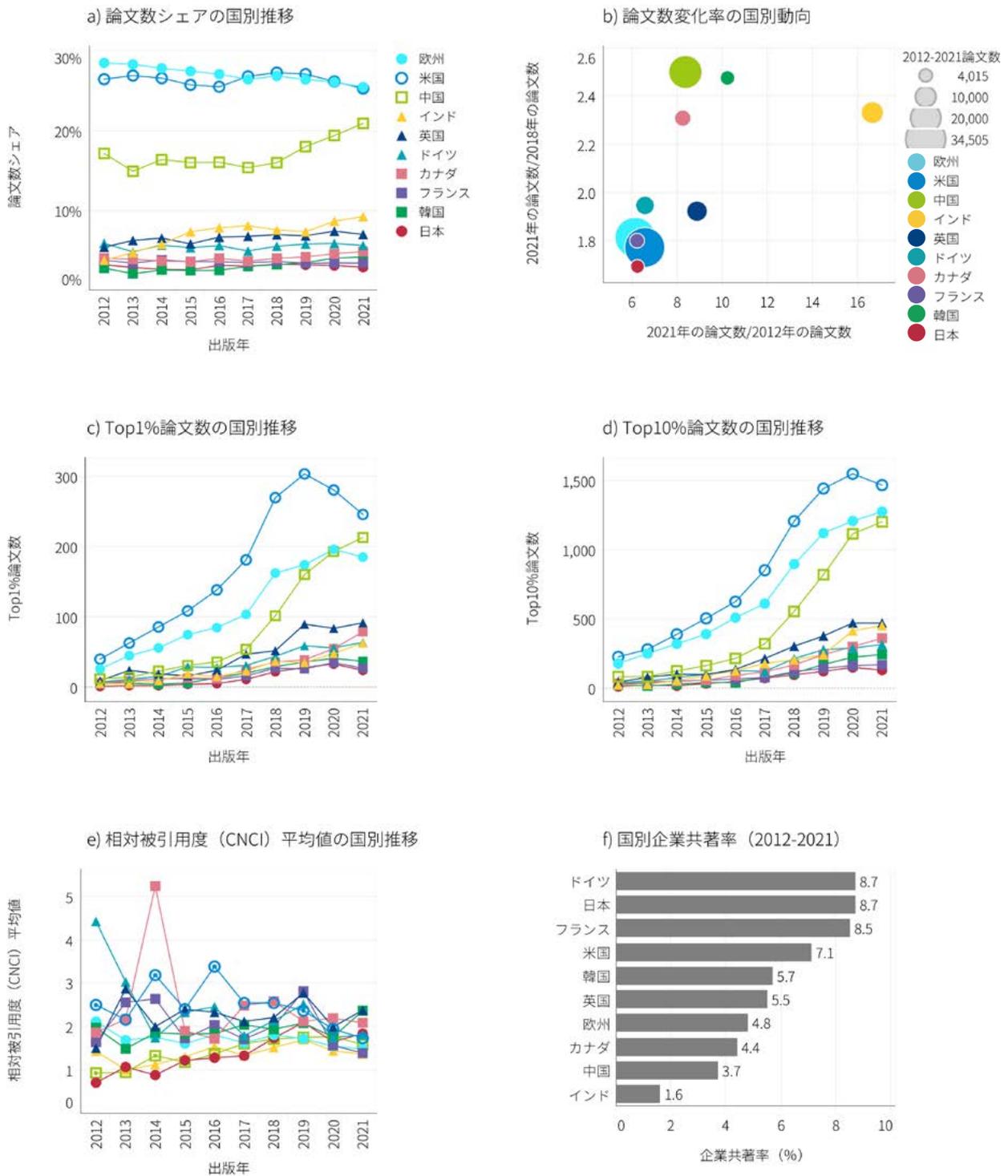


図 3.1-S7.6-2 システム設計の数理領域における論文数の動向②

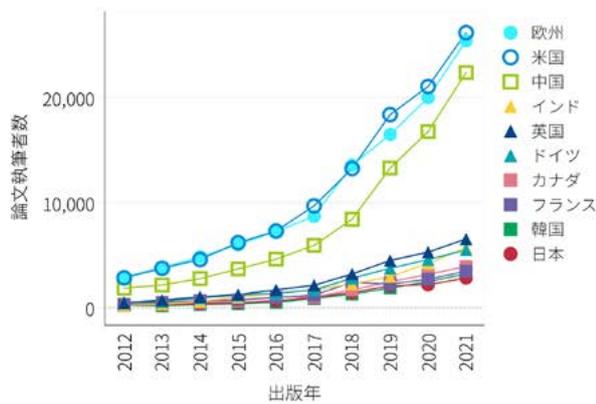
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

| (%) | 米国 | 欧州 | 中国 | インド | 英国 | ドイツ | カナダ | フランス | 韓国 | 日本 | 論文数 (件) |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------------|
| 米国 | \ | 8 | 11 | 2.2 | 4.7 | 3.3 | 3.7 | 1.9 | 2.1 | 1.3 | 34,215 |
| 欧州 | 11 | \ | 4.4 | 2.3 | 8.2 | 6.8 | 2.3 | 4.1 | 1.1 | 1.2 | 25,478 |
| 中国 | 15 | 4.6 | \ | 1.3 | 5 | 1.3 | 3.5 | 1 | 1.4 | 1.9 | 24,154 |
| インド | 7.4 | 5.8 | 3.2 | \ | 3 | 1.1 | 1.3 | 0.79 | 2 | 0.78 | 10,267 |
| 英国 | 18 | 23 | 13 | 3.4 | \ | 7.4 | 3.9 | 4.4 | 1.7 | 2 | 8,959 |
| ドイツ | 15 | 24 | 4.4 | 1.6 | 9 | \ | 3 | 5.1 | 1.7 | 1.8 | 7,340 |
| カナダ | 22 | 11 | 15 | 2.4 | 6.3 | 3.9 | \ | 3.6 | 1.9 | 2 | 5,605 |
| フランス | 14 | 23 | 5.3 | 1.8 | 8.6 | 8 | 4.4 | \ | 0.91 | 1.9 | 4,622 |
| 韓国 | 16 | 6.3 | 7.5 | 4.5 | 3.4 | 2.7 | 2.4 | 0.93 | \ | 1.8 | 4,526 |
| 日本 | 11 | 7.5 | 11 | 2 | 4.6 | 3.2 | 2.8 | 2.1 | 2 | \ | 4,015 |

b) 論文数上位機関 (世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021)

| 研究機関 | 国 | ランク | 論文数 | Top1%論文数 | Top10%論文数 |
|---|------|-----|-------|----------|-----------|
| Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) | フランス | 1 | 1,783 | 65 | 345 |
| Harvard University | 米国 | 2 | 1,256 | 100 | 438 |
| Massachusetts Institute of Technology (MIT) | 米国 | 3 | 1,012 | 104 | 359 |
| Tsinghua University | 中国 | 4 | 972 | 46 | 266 |
| Stanford University | 米国 | 5 | 891 | 89 | 333 |
| Georgia Institute of Technology | 米国 | 6 | 770 | 49 | 225 |
| University of Michigan | 米国 | 7 | 768 | 49 | 230 |
| Shanghai Jiao Tong University | 中国 | 8 | 760 | 40 | 186 |
| Carnegie Mellon University | 米国 | 9 | 757 | 68 | 237 |
| University of California Berkeley | 米国 | 10 | 721 | 72 | 266 |
| University of Tokyo | 日本 | 54 | 453 | 16 | 89 |

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数 (2017-2021)

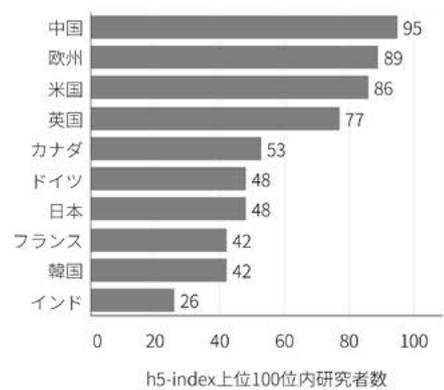


図 3.1-S7.6-3 システム設計の数理領域における論文数の動向③

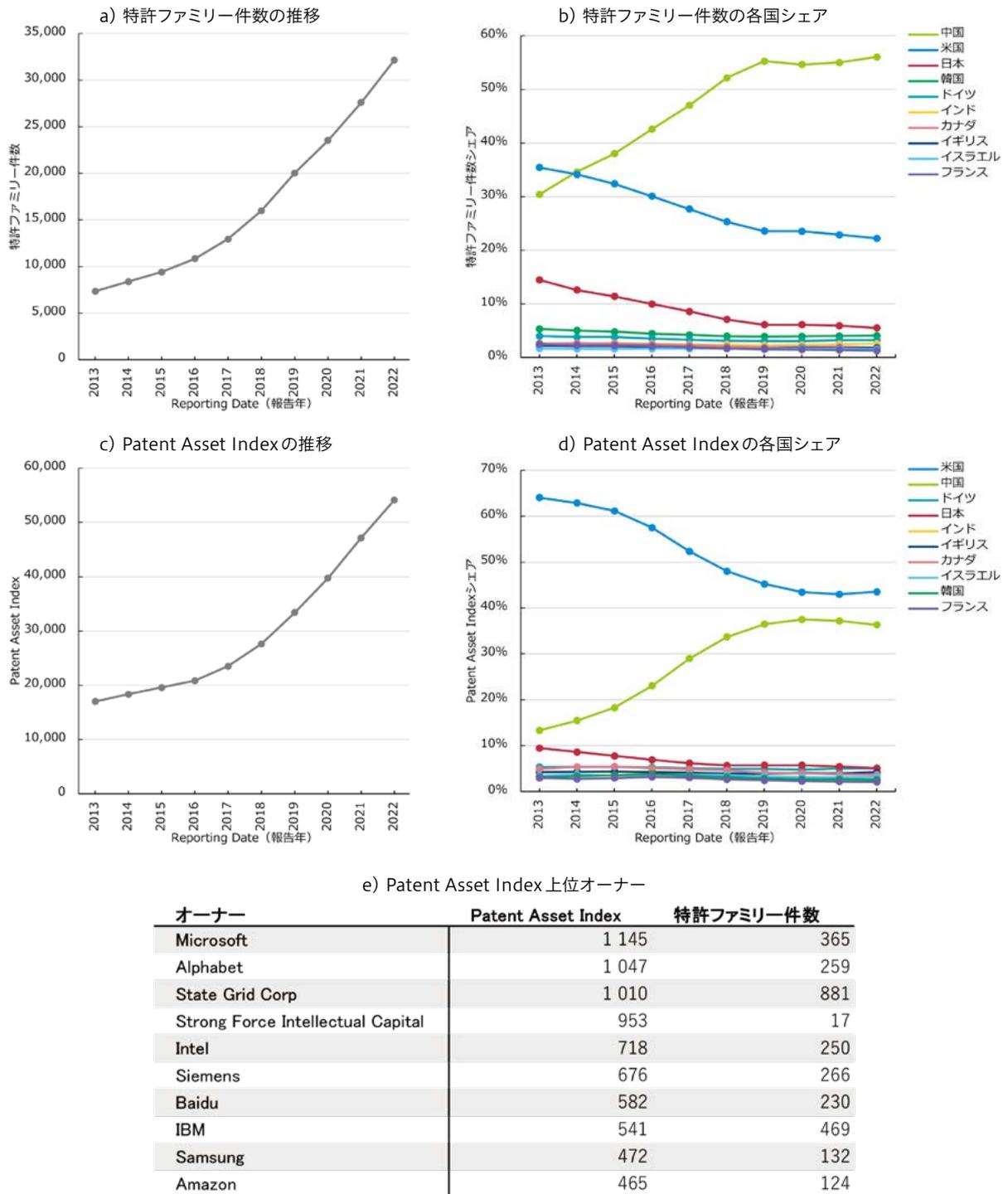


図 3.1-S7.6-4 システム設計の数値領域における特許数の動向