

気候変動の自然科学的根拠はこの 20 年でどう変化したか ～これまでの IPCC 評価報告書を量的テキスト分析で比較する～

目 次

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| I. はじめに | IV. 専門用語から変化を読む |
| II. IPCC 評価報告書の概要と形態素解析 | V. 可能性や確信度の表現から変化を読む |
| III. 頻出語から変化を読む | VI. まとめ |

上席研究員 小林 郁雄

要 約

I. はじめに

IPCC による評価報告書は世界の気候変動政策の道標となってきた。数次にわたるこれまでの報告書の比較分析を通じて、気候変動に関する科学的根拠の時流変化の一端を明らかにできれば、政策の現在地と今後の行方を知ること役立つ。本稿では量的テキスト分析の方法を用いて報告書の分析を試みる。

II. IPCC 評価報告書の概要と形態素解析

気候変動の自然科学的根拠を扱う IPCC・WG1 の政策決定者向け要約（SPM）のうち、直近の約 20 年間に作成された 4 つの SPM について形態素解析を行い、単語の出現頻度を分析した。

III. 頻出語から変化を読む

4 つの SPM から頻出語を抽出して、ワードクラウドと共起ネットワークを作成し、各 SPM の内容を視覚的に表現した。その結果をもとに、SPM の内容変化を分析した。

IV. 専門用語から変化を読む

4 つの SPM から専門用語を抽出して、各 SPM での出現パターンを分析し、気候変動研究の時流変化を読み取る手がかりとして専門用語の分類を行った。その結果をもとに、SPM の内容変化を分析した。

V. 可能性や確信度の表現から変化を読む

IPCC による評価報告書の特徴でもある可能性や確信度に関する統一的な表現を抽出して、各 SPM での表現の数や評価ランクの数量から SPM の内容変化を分析した。また、可能性や確信度に関する評価結果の中から SPM 間で評価ランクを比較可能なものを抽出して、SPM の内容変化を分析した。

VI. まとめ

量的テキスト分析による視覚的な表現や数量変化の分析により、自然科学的な不確実性が全体として低減していることを裏付ける結果が得られるとともに、研究の停滞を示唆する結果も得られた。このような分析は、企業をはじめとした専門家以外にも、気候変動対応への理解と予見性向上に資する情報になると考えられ、企業等が先見性の高い合理的な気候変動対応を進めていく上で役立つ可能性がある。

I. はじめに

気候変動問題はその本質に科学的な不確実性をはらんでいる。不確実性の大きさによっては、とるべき政策が定まらず、取り返しのつかない損失を将来の世代に与えてしまうかもしれない。科学の現場では、そのような不確実性を低減するべく、新たな科学的知見が日々生まれている。それゆえ、気候変動に関するその時々科学的知見は世界の気候変動政策の道標となってきた。

気候変動に関する科学的知見は政府間組織である IPCC により評価が行われ、報告書がこれまで 6 回にわたり公表されてきた。報告書本文は大冊のため、政策決定者向けに要約版（Summary for Policy-makers : SPM）が作成されている。SPM は要約であるものの、専門用語が頻出するなど専門家以外の者にとっては難解である。このため、新たな報告書が公表される度に、概要を解説したレポートが研究者・研究機関を中心に多数作成され、様々な媒体でも取り上げられてきた。気候変動に関する最新の科学的知見を企業関係者や一般向けにわかりやすく伝え、気候変動問題の重要性を広く知らしめるという点で、それらが果たしてきた役割は大きい。

そのようなレポートでは、最新の報告書を 1 つ前の報告書と比較するケースが多い。しかし、数次にわたる報告書を遡り、特定の技術分野に限らず網羅的に比較分析を行った例はあまりみられない。気候変動政策の道標となってきた各報告書の比較を通じて、これまでの変化のベクトルと今後の課題を明らかにすることができれば、政策の現在地と今後の行方を知ることに役立つ。

そこで、気候変動に関する科学的根拠の時流変化を網羅的かつ客観的につかむため、量的テキスト分析の方法を用いて、この 20 年間に公表された 4 つの評価報告書の比較分析を試みる。

II. IPCC 評価報告書の概要と形態素解析

1. IPCC 評価報告書の概要

IPCC 評価報告書は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が気候変動に関する最新の科学的知見を包括的に評価し、その結果を取りまとめたものである。世界の第一線の専門家が執筆に参加し¹、査読には各国政府が参加してきた。執筆者は、ある知見や事象に関して研究論文や報告書などの証拠がどのくらいあり、結果がどのくらい一致しているかを吟味して、当該知見等の可能性や妥当性を評価する。第 6 次評価報告書の第 1 作業部会報告書では、「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」という評価結果が示された。第 5 次評価報告書に比べて、より断定的な表現に変わった²ことが報道等で大きく取り上げられたことは記憶に新しい。

報告書は、《図表 1》のとおり作業部会報告書と統合報告書で構成される。作業部会は 3 つあり、第 1 作業部会（WG1）は自然科学的根拠、第 2 作業部会

《図表 1》 IPCC 評価報告書の構成

作業部会報告書		統合報告書
WG1 (自然科学的根拠)	報告書本文 / TS / SPM	報告書/SPM
WG2 (気候変動影響、 適応及び脆弱性)	報告書本文 / TS / SPM	
WG3 (気候変動緩和)	報告書本文 / TS / SPM	

(注 1) TS は技術要約、SPM は政策決定者向け要約である。

(注 2) 評価報告書以外の報告書として特別報告書がある。

(出典) 各種資料をもとに当研究所作成

¹ 環境省 HP 報道発表資料 2020 年 12 月 15 日 <<https://www.env.go.jp/press/108791.html>> (visited 10 Feb.,2023) によれば、報告書の作成には世界各国の研究者数千名が参加している。

² 第 5 次評価報告書での表現は「気候システム温暖化には疑う余地がない」、「気候システムに対する人間の影響は明瞭」。

(WG2) は気候変動影響、適応及び脆弱性、第 3 作業部会 (WG3) は気候変動緩和を扱う。各作業部会報告書の本文は約 2 千ページあり、気候変動政策の実務では SPM が活用されている。SPM は、WG1 について気象庁、WG2 について環境省、WG3 について経済産業省により日本語訳が作成されている。

報告書は 1990 年の第 1 次評価報告書以降、5～7 年ごとに取りまとめられてきた。最新の第 6 次評価報告書については、各作業部会報告書が 2021～2022 年に順次公表され、統合評価報告書が今後公表される予定となっている (本稿執筆時点)。

本稿では各報告書を次のとおり略称で表記する。

- ・ 第 1 次評価報告書 : FAR (1990 年)
- ・ 第 2 次評価報告書 : SAR (1995 年)
- ・ 第 3 次評価報告書 : TAR (2001 年)
- ・ 第 4 次評価報告書 : AR4 (2007 年)
- ・ 第 5 次評価報告書 : AR5 (2013～2014 年)
- ・ 第 6 次評価報告書 : AR6 (2021 年～)

2. 本稿の分析対象

気候変動対策の両輪である適応策と緩和策には自然科学的な裏付けが欠かせない。本稿では、3 つの作業部会の中でも基盤的な役割を担う WG1 (気候変動の自然科学的根拠) の SPM を対象とする。分析に、SPM の原文 (英語) を用いると、内容の比較や分析時の翻訳に高度かつ広範な専門性が必要になるため、実際の分析では、気象庁から公開されている 4 つの SPM の日本語訳³ (TAR⁴、AR4⁵、AR5⁶、AR6⁷) を用いた。よって、本稿では、気候変動の自然科学的根拠に関する直近 20 年間の変化を追うことになる。

次に分析方法を整理する。分析対象となる 4 つの SPM は、文字数だと 11 万字ほどであり、ほぼ文庫本 1 冊に相当する程度である。しかし、SPM ごとに構成が異なっており、専門用語が多く、一文が長くて難解な文章も多い。このため、内容の整理や比較を手作業で行うとした場合、相当な労力と時間が必要になるだけでなく、作業者の解釈によって比較結果が異なったものになる可能性もある。そこで、本稿では、大量の文書情報の分析に用いられることが多い量的テキスト分析の方法を用いて、できるだけ効率的かつ定量的な比較を試みた。

3. 形態素解析のための準備

形態素とは、それぞれの言語において意味をもつ最小の単位のことであり、形態素解析とは、文書に含まれる形態素の品詞を特定しながら 1 つ 1 つの形態素に分割していく手順のことである。日本語には形態素と形態素の間を仕切る空白がないため、量的テキスト分析では形態素解析が欠かせない。なお、厳密には「形態素」と「単語」は同一ではないが、本稿では特別の場合を除き「単語」と言い換える。

³ 現在、FAR、SAR の日本語訳は公開されていない。また、TAR、AR4、AR5 は確定訳だが、AR6 は本稿執筆時点で暫定訳である。なお、AR6 については、暫定訳 (2022 年 5 月 12 日版) を用いたが、その後、2022 年 12 月 22 日版が公開されている。

⁴ 「科学的根拠 (The Scientific Basis)(政策決定者向け要約) 日本語訳:(気象庁訳)」

<<https://archive.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/japanese/tar-wg1-spm.PDF>> (visited 30 Nov.,2022)

⁵ 「IPCC 第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約」(気象庁)

<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc_ar4_wg1_spm_Jpn.pdf> (visited 30 Nov.,2022)

⁶ 「IPCC 第 5 次評価報告書 第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約 気象庁訳」

<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf> (visited 30 Nov.,2022)

⁷ 「IPCC 第 6 次評価報告書第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約 暫定訳 (文部科学省及び気象庁)」

<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WG1_SPM_JP.pdf> (visited 30 Nov.,2022)

量的テキスト分析では、形態素解析とともに、分割された単語の頻度や単語の前後関係の分析も併せて行うことが多い。本稿では、形態素解析ツールとしてオープンソース形態素解析エンジンである MeCab⁸を使用し、頻度や共起語等の分析に R の RMeCab パッケージ⁹を利用した。

形態素解析を行うためには、テキスト形式のファイルを準備する必要がある。SPM のファイルを担当省庁のホームページからダウンロードして、ファイル形式を変換するだけであれば数分もかからない。しかし、実際のところ、適切な解析結果が得られるテキストファイルを用意するためには、多段階の前処理作業を経る必要がある。前処理の流れを以下に示す。

(1) 序文・謝辞等の削除

各 SPM の日本語訳は、気象庁ホームページから PDF 形式のファイルとして入手した。このファイルには、本文以外に、表紙、目次、前書き、序文、謝辞、執筆者一覧、正誤表、章立て番号、文頭記号、引用文献等が含まれているため、これらを削除した。また、テキスト形式への変換では、図表中に記載された説明文等の文字がテキスト変換されない場合があり、そのような場合は手作業で文字を追記した。よって、テキスト分析の対象とした文字は、SPM の図表中の説明書きや註釈部分を含んだものである。

(2) 形態素解析結果を利用した表記のゆれ等の抽出

SPM で使われる用語は担当省庁により慎重に吟味され、表記のゆれがないように留意されていると思われる。しかし実際には、AR5 では「エルニーニョ・南方振動 (ENSO)」という表記と「ENSO」という表記が混在し、AR6 では「温室効果ガス (GHG)」、「温室効果ガス」、「GHG」という表記が混在するなど、表記のゆれがある。また、AR4 での「大西洋の深層循環」と AR5 での「大西洋子午面循環 (AMOC)」は同一の現象を指すと考えられるほか、AR5 での「累積二酸化炭素排出量」と AR6 での「累積 CO₂ 排出量」も表記が一致していない。これらが異なる単語として集計されると、単語の出現頻度に影響するため、表記を統一する処理が必要になる。本稿では、対象テキストに対して一旦形態素解析を行い、その結果から「二酸化炭素」と「CO₂」のように同じ意味をもつ単語をリストアップした後に、それらを「二酸化炭素」に統一するといった処理を計 100 語について行った。なお、その際、単純に「CO₂」を「二酸化炭素」に置換してしまうと、「二酸化炭素 (CO₂)」が「二酸化炭素 (二酸化炭素)」となって、頻度解析結果を攪乱してしまう。このため、変換手順をプログラム化して自動処理し、誤変換が起きないように留意した。

(3) 共起ネットワークを利用した分野特有の単語の洗い出しと辞書登録

デフォルトの MeCab で「気候変動」や「地球温暖化」などを形態素解析すると、気候変動は「気候」と「変動」の 2 つに分割され、地球温暖化は「地球」、「温暖」、「化」の 3 つに分割されてしまう。「気候」を含む専門用語には、気候変動以外にも気候システムや気候感度などがあり、「地球」を含むものにも地球温暖化のほか地球規模や地球全体などがある。それらは互いに意味が異なるため、専門用語が細

⁸ MeCab: Yet Another Part-of-Speech and Morphological Analyzer <<http://taku910.github.io/mecab/>> (visited 6 Feb.,2023)

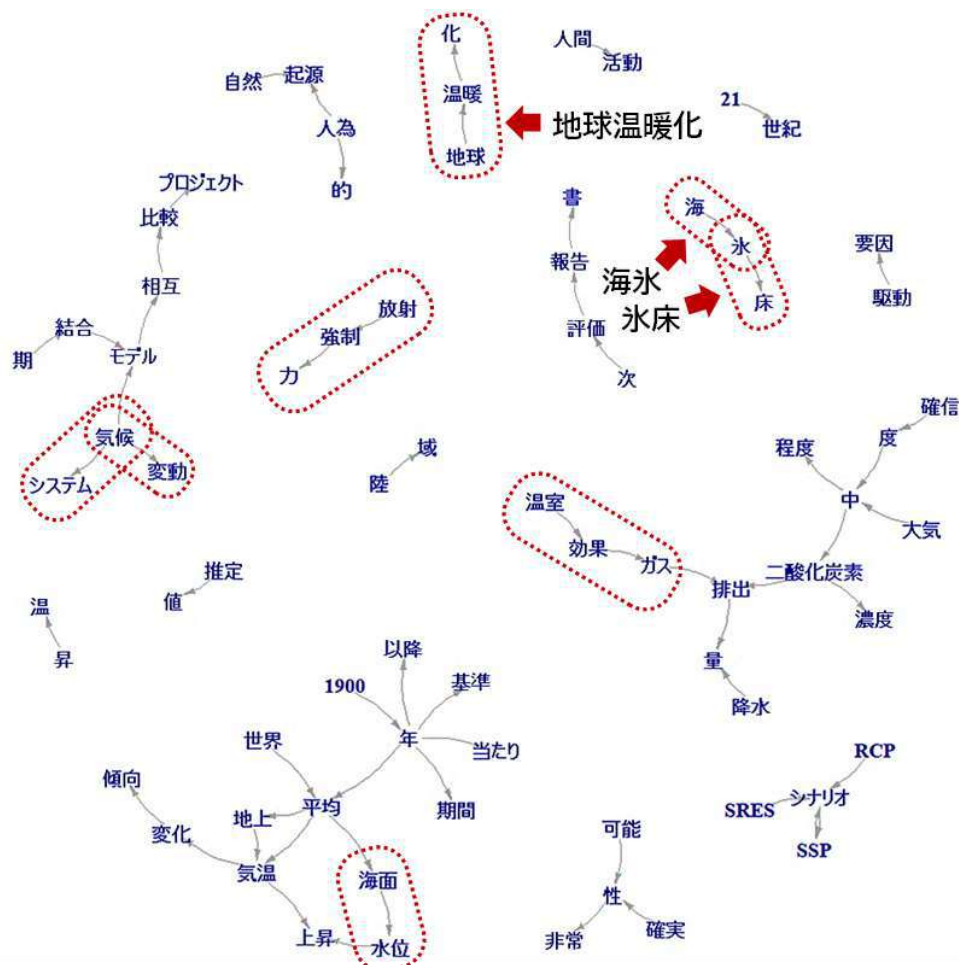
⁹ アールメカブ <<http://rmecab.jp/wiki/index.php?RMeCab>> (visited 6 Feb.,2023)

分された状態の結果では適切な頻度分析ができない。そこで、本稿では、専門用語などを形態素解析エンジンのシステム辞書に登録して、形態素解析の際にそれらが分割されるのを防ぐ方法をとった。具体的には、デフォルト状態のシステム辞書を用いて形態素解析を行い、その結果をもとにして作成した共起ネットワークを用いて、辞書登録すべき専門用語等の洗い出しを行った《図表 2》。共起ネットワークとは、文章の中で、特定の単語と特定の単語が同時に出現するという単語同士の関係性（共起）を、単語間を線で結ぶことによって表現したものである。この方法はターゲットとなる単語を視覚的に容易に見つけることができ、効率的な方法であった。その結果、「地球温暖化」、「温室効果ガス」、「海面水位」、「熱帯低気圧」、「グリーンランド」のような一般的な用語のほか、「放射強制力」、「気候応答」、「累積炭素排出量に対する過渡的気候応答 (TCRE)」、「残余カーボンバジェット」のような一般にはあまり知られていないと思われる用語など計 366 語をリストアップして、MeCab のシステム辞書に登録した。

《図表 2》形態素解析の前処理で作成した共起ネットワークの例

この図は、MeCab のデフォルトのシステム辞書を用いた 4 つの SPM の形態素解析結果をもとに、頻度 40 回以上の形態素で作成した共起ネットワークである。これを見ると、「地球温暖化」が地球・温暖・化の 3 つの形態素に、「海水」が海・水の 2 つ、「氷床」が氷・床の 2 つの形態素に分割されていることがわかる。同様の図を複数の頻度幅で作成することによって、形態素解析時に分割されてしまう専門用語を低頻度のものを含めて効率よくリストアップすることができる。

なお、このような共起ネットワークは、SPM の内容をごく大まかではあるものの視覚的に表現しており、地球環境に関する研修や教育等の場での利用も考えられる。



(出典) IPCC 第 3~6 次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

(4) Stop Word の設定

改めて形態素解析を行い、頻度等の量的解析を行う上で特段の意味を持たない単語（例：図、表、棒、右、左、上、下）や記号・単位類をリストアップし、頻度解析の対象から除外する Stop Word とした。

4. 形態素解析と頻度分析

前処理後のテキストファイルについて形態素解析を行った。その際、名詞のうち接尾、非自立、代名詞は報告書の内容と出現頻度との関連性が薄いため、名詞のうちそれらを除いたものを解析対象とした。

《図表 3》にその結果を示す。頻度分析の対象となる単語数を、重複等を除いてカウントすると¹⁰、SPM 全体で 1,676 であった。そのうち頻度が 10 位までの単語は、《図表 4》に示すとおり、「変化」、「増加」、「観測」、「予測」、「地域」、「上昇」、「平均」、「可能性」、「モデル」、「二酸化炭素」であり、各 SPM での出現率と変動係数¹¹を示した。いずれの単語も各 SPM での出現頻度が上位 10%以内に入る頻出語となっており、この 20 年間で特筆すべき頻度の変化はみられない¹²。このことは、これらの単語が、気候変動の自然科学的根拠という共通テーマを語る上で不可欠な単語であることを表している。

《図表 3》形態素解析の結果

	文字数 ^注	形態素数 (延べ数)	名詞 (延べ数)	名詞 (実数)
TAR	19,859	11,338	3,391	793
AR4	18,714	11,217	3,314	729
AR5	34,089	19,444	5,922	889
AR6	41,467	22,898	7,201	1,064
SPM全体	114,129	64,897	19,828	1,710

(注) SPM 本文の文字数

(出典) IPCC 第 3~6 次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

《図表 4》頻度上位 10 語の各 SPM での出現率

	AR3	AR4	AR5	AR6	変動係数
変 化	1.8%	2.2%	2.9%	2.8%	0.19
増 加	1.8%	2.1%	1.6%	1.3%	0.17
観 測	1.6%	2.5%	1.5%	1.2%	0.27
予 測	1.7%	1.8%	1.0%	1.2%	0.24
地 域	1.2%	1.3%	0.6%	1.8%	0.35
上 昇	1.5%	1.8%	1.4%	0.7%	0.31
平 均	0.7%	0.8%	2.0%	0.9%	0.46
可能性	0.9%	1.4%	1.3%	0.9%	0.20
モデル	1.4%	1.0%	1.6%	0.3%	0.46
二酸化炭素	0.7%	0.4%	1.0%	1.2%	0.38

(出典) IPCC 第 3~6 次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

Ⅲ. 頻出語から変化を読む

1. ワードクラウドによる SPM の変化の見える化

(1) 通常のワードクラウド

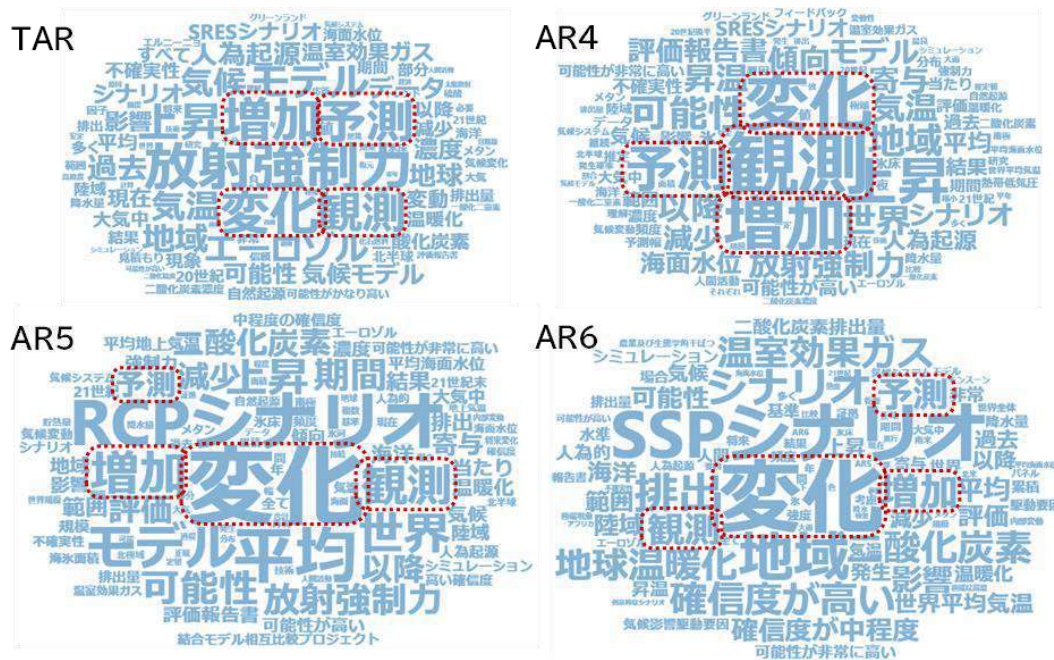
本章では頻出語に着目して SPM を比較する。テキスト分析には、単語を出現頻度に応じた大きさで並べて文書の内容を視覚化するワードクラウドという方法がある。《図表 5》は、各 SPM の頻度上位 100 語で作成したワードクラウドである。作成には R の wordcloud2 パッケージを使用した。これらのワードクラウドには SPM ごとくの大まかな内容が視覚的に表現され、実際に SPM を読まなくてもその大枠

¹⁰ 形態素解析では、同一表記の単語であっても文脈によって異なる形態素に判定され（例：一般名詞と判定される場合や固有名詞と判定される場合など）、別々に頻度が計上される場合があるため、そのような場合は頻度を合算した。

¹¹ 変動係数とは、対象データの標準偏差を平均値で除したものである。

¹² 《図表 4》に示す 10 の単語のうち、8 つほどの SPM でも頻度の上位 50 番以内に入っており、他の 2 つも頻度の上位 70 番以内に入っている。《図表 3》のとおり、各 SPM には 700~1000 の単語（名詞）が含まれることから考えて、いずれの単語も各 SPM での頻出語だといえる。なお、変動係数の大きさ自体から、変動が大きいまたは小さいなどの判断をすることはできないが、本稿の場合、各 SPM の内容を特徴づけるような頻度変動は、変動係数がおおむね 0.5~0.6 以上になるとみられる。

《図表 5》 頻出語で作成したワードクラウド



(出典) IPCC 第 3-6 次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

をつかむことができる。しかし、どのワードクラウドにも「変化」、「増加」、「観測」、「予測」といった頻出語が大きく表示されており、SPM の変化をより明確にする工夫が必要だと考えられる。

(2) 出現率の変動を加味したワードクラウドからみる SPM の変化

そこで、SPM ごとの出現率が大きく変動する単語を用いてワードクラウドを作成した。《図表 6》に、各 SPM での出現率の変動係数が 0.6 以上の単語のうち、出現率が上位 100 語までの単語で作成したワードクラウド¹³を、含まれる単語の頻度と併せて示す¹⁴。このように、頻度だけでなく、出現率の変動係数を加味したワードクラウドでは、それぞれの SPM に特有の単語が視覚的に強調されており、各 SPM 作成当時のトピックやそれらの変化を比較的容易に読み取ることができる。以下、それらのうち主なものについて、当時の背景を含めて整理する（以下、カッコ内に示す A→B→C→D といった表記は、4 つの SPM での特徴や頻度等の変化を表す）。

① 排出シナリオに関する変化（TAR から AR6 への変化は、SRES→SRES→RCP→SSP）

気候をコンピューターによる計算で再現・予測することを可能にした気候モデルでは、将来の気候を予測するにあたって、温室効果ガスの排出量が今後どのように推移するかを示したシナリオが必要になる。ワードクラウドでは、TAR と AR4 で「SRES シナリオ」、AR5 では「RCP シナリオ」、AR6 では「SSP シナリオ」といった文字が目立つが、これらは、それぞれの SPM 作成当時、気候モデルによる

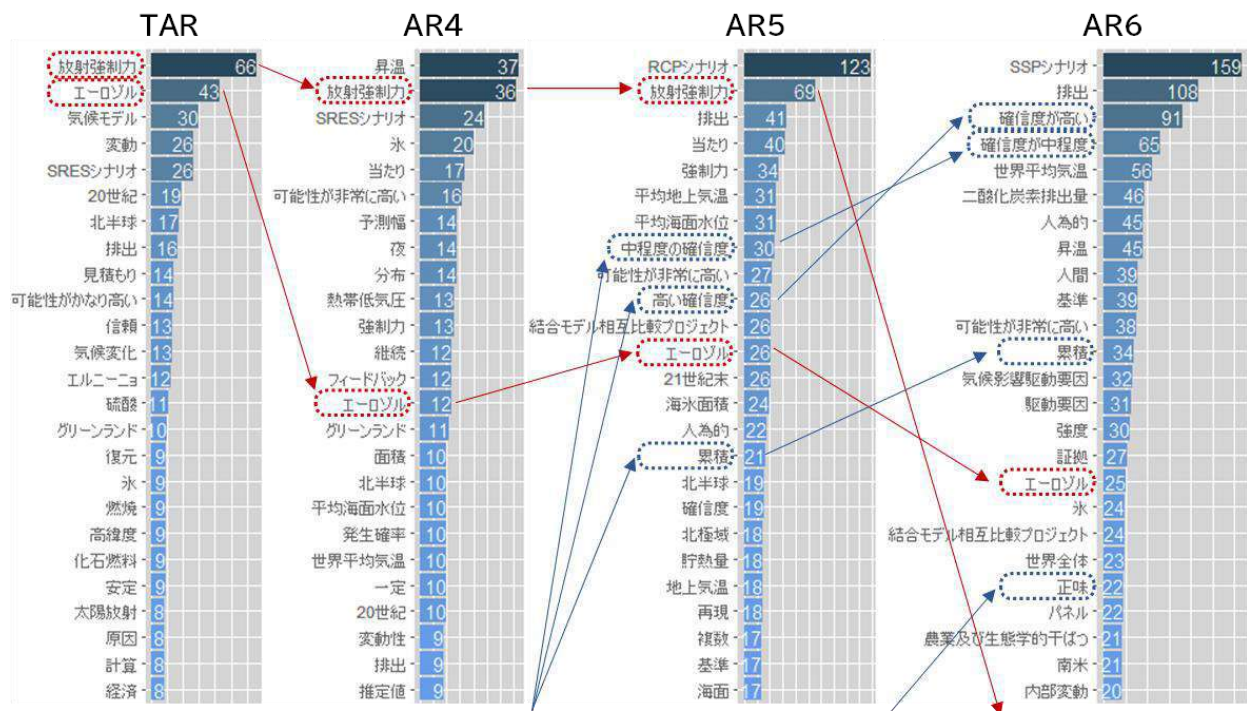
¹³ 出現率の変動が大きい単語として、「地球」、「データ」、「研究」などがあるが、それらの変動要因は各 SPM の執筆・編集時の言葉遣いにある。例えば、「地球全体」と「世界全体」は同じ意味だが、両者の比率は SPM ごとに異なる。よって、これらの変動が SPM の内容面での変化を表している可能性は低いため、そのような単語もワードクラウドの作成対象から除外した。

¹⁴ ワードクラウドでは文字の大きさを単語の頻度に比例させる場合が多いが、頻度のコントラストが大きいと、ワードクラウドの形状が歪んでしまうため、《図表 6》では、文字の大きさのコントラストを《図表 5》に比べて小さく調整した。

《図表 6》SPMによって出現率が大きく変動する頻出語で作成したワードクラウド



※以下は各ワードクラウドに含まれる単語の頻度（上位 25 位まで）



(出典) IPCC 第 3-6 次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

将来予測で採用された排出シナリオである。排出シナリオは、気候変動の将来予測結果を左右する前提条件となるため、いずれの SPM でも高い出現率になっていると考えられる。

② 「放射強制力」にみられる変化（TAR～AR6 の変化は、大→中→中→小）

TAR のワードクラウドでは、「放射強制力」という文字が目立っている。その大きさは、TAR から AR5

にかけて徐々に小さくなり、AR6ではワードクラウドに登場しなくなる。放射強制力とは、気候を変化させる影響力の大きさを表す指標であり、正の値であれば地表面を温め、負の値であれば冷却することを意味する。TAR作成当時は、本当に人間活動が気候変動を引き起こすのか否かが最大の焦点の一つであった。このため、温室効果ガスや後述するエアロゾルの放射強制力が正なのか負なのか、また、トータルの大きさはどのくらいかといったことに大きな注目が集まっていた。しかし、放射強制力の見積もりに関するその後の研究の進展や、AR5の公表、パリ協定の採択（2015年）を経て、人間活動が気候変動を進行させていることに関する共通認識化が急速に進んだ。このような研究の進展と気候変動への認識の変化が、放射強制力という用語の頻度の変化に表れていると考えることができる。

③「エアロゾル」にみられる変化（TAR～AR6の変化は、大→中→中→中）

「エアロゾル」もTARのワードクラウドで目立つ単語であり、それ以降もある程度の大きさの文字を見つけることができる。エアロゾルとは大気中の微粒子のことであり、その種類や量によっては、地球を冷却する効果（負の放射強制力）が大きい。TARの作成当時は、人間活動に起因するエアロゾルのもつ放射強制力の大きさは科学的な不確実性が大きいとされていた。特に、エアロゾルのもつ放射強制力が、人為的な二酸化炭素のもつ正の放射強制力の大部分を打ち消すほどの大きさである可能性も指摘されるなど、TARにおいて大きな焦点となっていた。その後は研究の進展によって注目度が低下したものの、未だにエアロゾル表面で起きる複雑な化学反応などを含め、科学的な不確実性が大きい。そのようなことがワードクラウドから読み取れる変化の背景にあると考えることができる。

④確信度に関する表現にみられる変化（TAR～AR6の変化は、無→無→中→大）

AR5とAR6のワードクラウドでは、それ以前にはみられない「高い確信度」、「確信度が高い」、「確信度が中程度」などの確信度に関する表現がみられる。第V章で詳述するが、IPCCの評価では、主要な知見・事象について、可能性に関する表現と確信度に関する表現が統一的に用いられることになっている。このうち可能性に関する表現はTARでも使われていたのに対して、確信度に関する表現はAR4から導入された。可能性に関する表現が確率を用いて定量的に表現可能な知見にしか適用できないのに対して、確信度に関する表現は定性的な表現であるため、より幅広い知見に適用できる。ワードクラウドから、AR5以降、確率による評価が難しい知見や事象に対しても、統一的な評価が積極的に行われるようになったことが窺われる。

⑤「累積」、「正味」、「極端現象」にみられる変化（TAR～AR6の変化は、無→無→中→中）

「累積」、「正味」は、AR4まではみられず、AR5やAR6のワードクラウドにおいて中程度の大きさで表現されており、頻度が急増したことがわかる。このうち、「累積」は、TCREというAR5で提示された指標（第IV章の3③を参照）やカーボンバジェットという重要な科学的知見に関連したものであり、「正味」についてもカーボンニュートラルに関連した単語である。また、「極端現象」はAR6で急増しており、近年の自然災害による被害増加や社会からのニーズの増加、更には気候モデルの能力向上が背景にあると考えられる。これら3つの単語は、ここ数～10年間における気候変動政策のトレンドを表すものだといえる。

2. 共起ネットワークによる SPM の変化の見える化

(1) 特定の単語についての共起ネットワーク

前項と同じく頻出語に着目する。ここでは、第Ⅱ章に示した共起ネットワークを利用して SPM の変化を分析する。前述のとおり、「観測」、「予測」、「増加」、「減少」、「上昇」といった単語は SPM 共通の頻出語であるため、それらの頻度から SPM の変化を知ることは難しい。しかし、「観測」という単語の場合、何の「観測」なのか、あるいは、「観測」の何に関する記述なのかなど、前後の単語との関係性（共起）が SPM の内容に応じて変化している可能性がある。そこで、頻出語とその前後に現れる単語との共起ネットワークを作成して、SPM の変化の見える化を試みる。

《図表 7》に、特定の単語に関する共起ネットワークの例を 3 つ示す。なお、ここで共起語として扱う品詞は、名詞、副詞、形容詞とした。このため、「台風の発生頻度が増加したと考えられる地域」という一文の場合、「増加」の前に現れる共起語は「頻度」となり、「増加」の後に現れる共起語は「地域」となる。また、図では、共起ネットワークの文字サイズを出現頻度に応じて変えてある。

1 つめの図は、AR4 における「評価」という単語とその前に現れる共起語のネットワークである。この図から、AR4 では、不確実性、可能性、地域や影響などに関する評価が行われたことが読み取れる。

2 つめの図は、AR6 における「気候」という単語とその後に現れる共起語のネットワークである。この図からは、AR6 が気候の記録、プロセス、極端現象、予測、情報や応答などを取り扱ったものであることが読み取れる。

また、共起ネットワークでは複数の単語に関する共起語の関係を表現することもできる。3 つめの図は、AR6 における「二酸化炭素」、「排出」、「増加」という 3 つの単語とその前に現れる共起語のネットワークである。一見複雑そうだが、AR6 において、どのような（例：世界全体の）二酸化炭素についての、どのような（例：人為的な）排出や、どのような（例：排出量の）増加が評価対象になっているのかが端的に表現されている。このような図は、専門外の者にとって SPM の内容の大枠を短時間で理解する上で役立つと考えられる。また、専門家にとっても、単語同士の関係性を視覚的に確認することによって、新たな気づきにつながる可能性もあると考えられる。

(2) 頻出語の共起ネットワークからみる SPM の共通テーマ

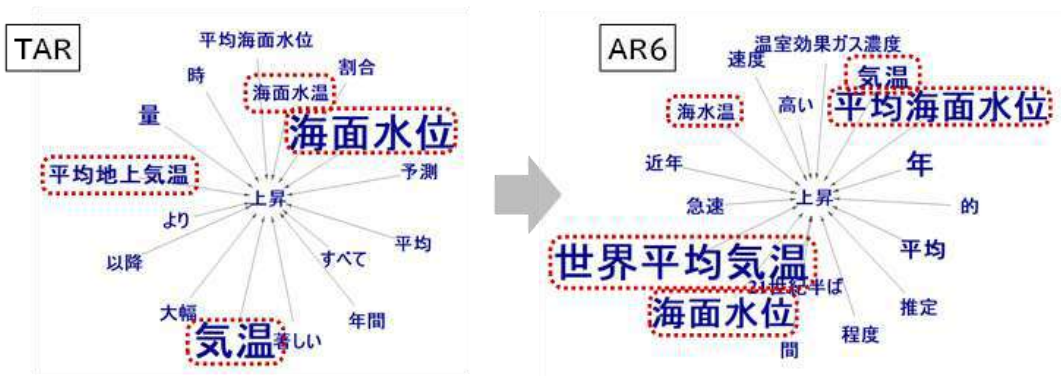
頻度分析で抽出された様々な頻出語ごとに、その前後に位置する共起語との共起ネットワークを TAR から AR6 までの 4 つの SPM について作成し、それらの変化を検証した。その結果、頻出語によって、SPM の間で特に変化がみられないものと、大きな変化がみられるものがあつた。

ここでは、4 つの SPM の共起ネットワークで特に変化がみられなかったものについての分析結果を示す。そのような単語には、「上昇」、「増加」、「減少」、「陸域」、「海洋」、「大気」、「観測」、「予測」、「氷床」、「海氷」、「気温」、「降水」などがある。作成した共起ネットワークの一部を《図表 8》に示した。

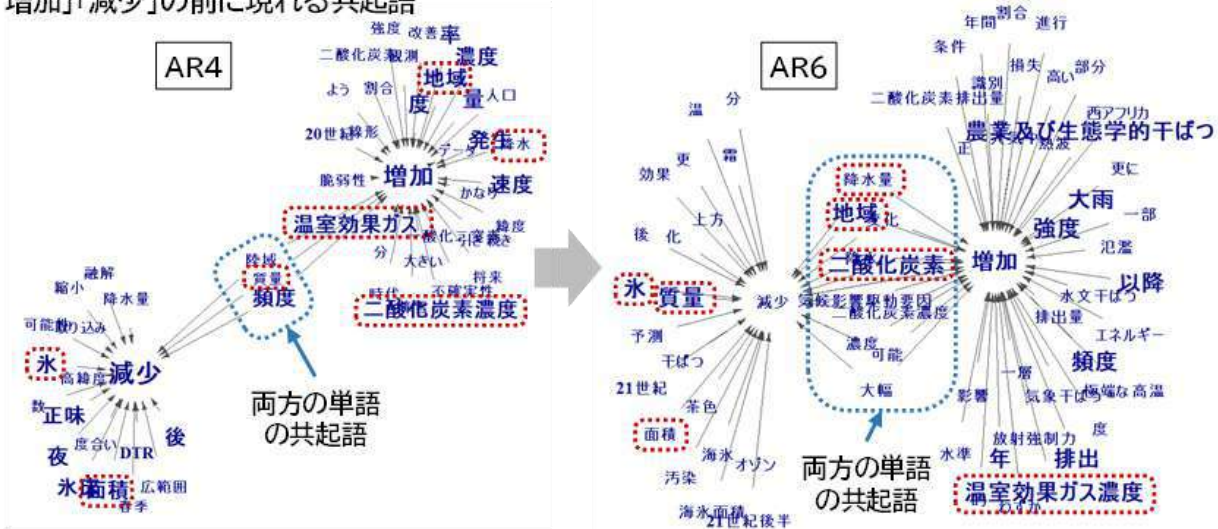
図の 1 つめは、「上昇」とその前に現れる共起語のネットワークである。共起語は、例示した TAR と AR6 で特段の違いはみられない。このことから、各 SPM ではこれまで一貫して、気温、海面水位、水温などの「上昇」が取り上げられてきたことがわかる。

《図表 8》 頻出語の共起ネットワークのうち SPM 間で大きな変化がみられないもの

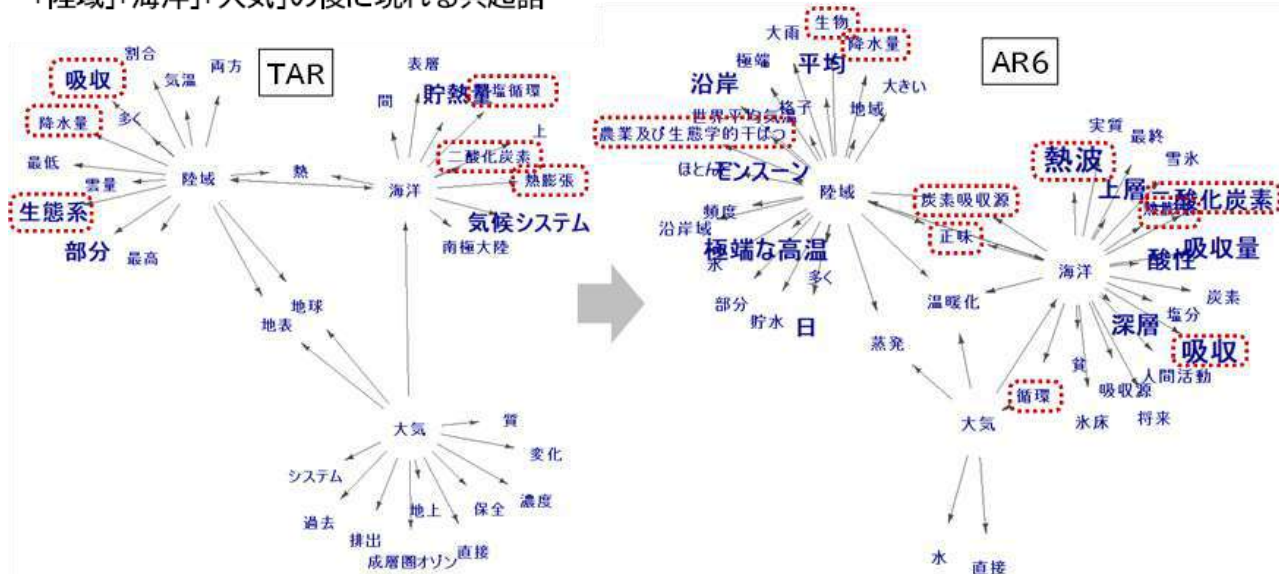
「上昇」の前に現れる共起語



「増加」「減少」の前に現れる共起語



「陸域」「海洋」「大気」の後に現れる共起語



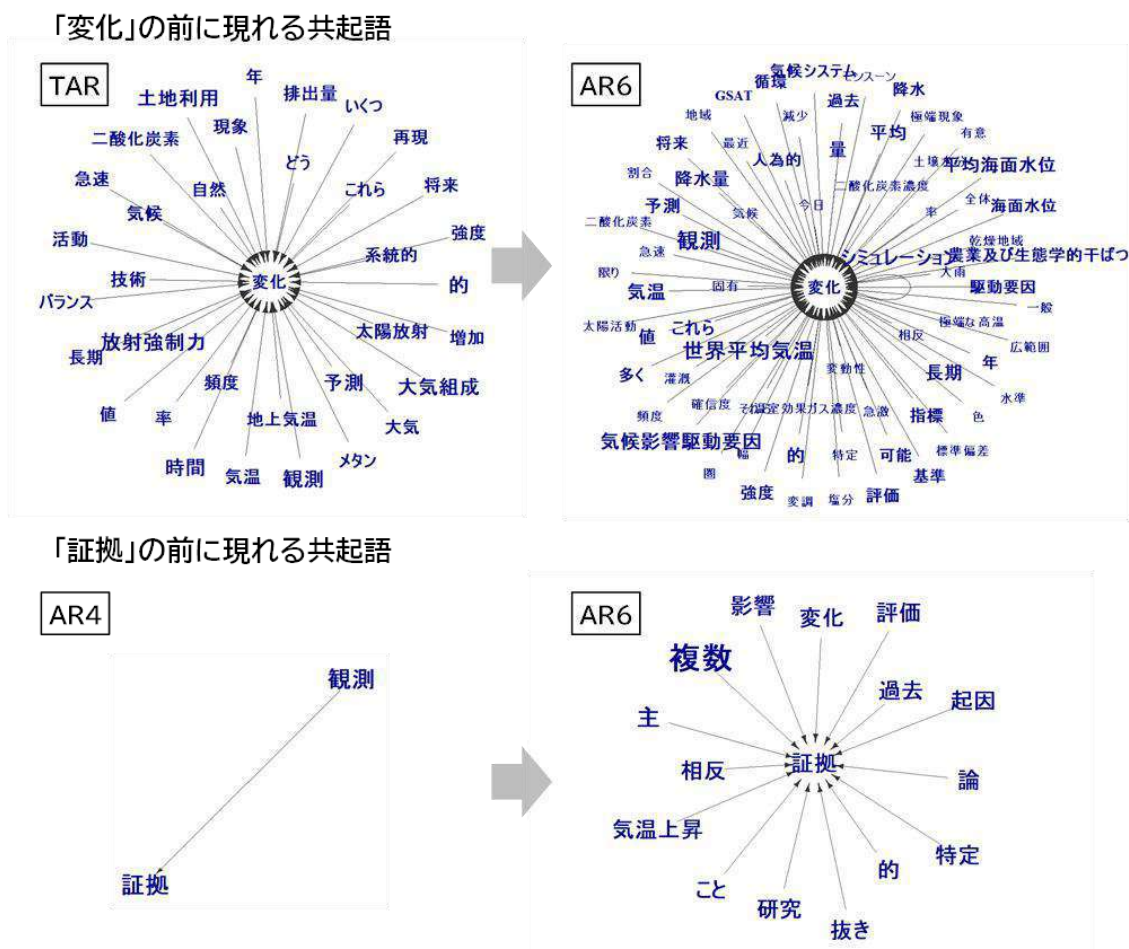
(出典) IPCC 第 3~6 次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

3つめは、「陸域」、「海洋」、「大気」と、それらの後に現れる共起語のネットワーク表示である。TARとAR6では共起語に大きな変化がみられず、これまで一貫して、「陸域」については、その降水量、生態、吸収などが、「海洋」については、熱膨張、(熱塩)循環、二酸化炭素(吸収)などが共通して取り扱われてきたことがわかる。また、この図では、共起語を通じて、「陸域」、「海洋」、「大気」の相互関係が視覚的に表現されている点が興味深い。これらの相互関係の大枠は、TARからAR6まで基本的には変わっていないことが窺われる。その一方で細かく見ると、AR6ではTARにはみられない、陸域での干ばつや海洋での熱波など、乾燥に関する共起語の増加が認められる。同じくAR6では、「陸域」と「海域」の両方の共起語として「炭素吸収源」や「正味」といったカーボンニュートラルに通じる単語も共起語として現れている。このように「陸域」、「海洋」、「大気」の基本的な相互関係には20年間で大きな変化がないものの、それぞれの関係性の詳細は確実に変化していることが視覚的に表現されている。

(3) 頻出語の共起ネットワークからみるSPMの変化

次に、各SPMの共起ネットワークに明らかな変化がみられるものについて整理する。そのような単語には、「変化」、「証拠」、「可能性」、「確信度」、「寄与」、「二酸化炭素」、「排出量」、「不確実性」などがある。作成した共起ネットワークの一部を、《図表9》、《図表10》に示した。

《図表9》頻出語の共起ネットワークのうちSPM間で大きな変化がみられるもの その1



(出典) IPCC 第3~6次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

《図表 10》では、「可能性」、「確信度」とその前に現れる共起語のネットワークを TAR から AR6 まで順に示した。この図から、「可能性」の共起語が増加していることがわかる。このことは、「可能性」を確率で定量的に表現できるような知見や事象がこれまで一貫して増加してきたことを示唆している。

一方の「確信度」の共起語については、特に AR5 から AR6 にかけて急増しているが、これは、確信度に関する統一表現が AR4 から導入され、AR5 で本格的に使われるようになったためである。共起語の数に着目すると、AR6 では「可能性」よりも「確信度」の方が多くなっており、AR5 での関係が逆転している。このことは、AR5 から AR6 にかけて、SPM の評価対象が、確率で定量的に表現できない知見や事象にも広がったことを示唆している。評価作業における軸足が「可能性」の評価から「確信度」の評価に移ってきたとまではいえないが、「確信度」として評価できるような科学的知見が充実してきたことを示している可能性がある。

3. 小括

SPM の時流変化を明らかにする目的で頻出語についての分析を行った。

具体的には、量的テキスト分析でよく知られたワードクラウドと共起ネットワークという 2 つの方法を用いて、SPM の内容の見える化を試みた。その結果、いずれの方法でも SPM の変化を視覚的に表現できることが確認された。

ワードクラウドでは、SPM ごとの出現頻度に大きな変動がない単語を除去することによって、各 SPM に特有の単語が視覚的に強調されたワードクラウドを作成した。そのような視覚的な表現をもとに、これまでの排出シナリオの変化、放射強制力やエアロゾルへの科学的評価の変化、確信度の評価にみえる変化、直近十年ほどの気候変動政策のトレンドなど、時流変化を読み取ることができた。

共起ネットワークについては、様々な頻出語について、その共起語との関係を視覚的に表現した。その結果、特定の頻出語に関する共起ネットワークは、SPM の内容を視覚化できるだけでなく、頻出語同士の相互関係についてもわかりやすく視覚化できることが確認された。このような表現は、専門家に限らず、SPM の大枠を短時間で理解するのに役立つと考えられ、環境教育の教材などに活用できる可能性もある。また、専門家にとっても、単語同士の関係性を視ることによって新たな気づきが生れる可能性がある。特に、「陸域」、「海洋」、「大気」という 3 つの単語で作成した共起ネットワークの SPM 間での比較では、それらの相互関係の基本的な構造がこの 20 年間で変化していないこと、その一方でそれぞれの関係性の詳細には様々な変化があることが視覚的に表現されていた。また、「証拠」とその前に現れる共起語が AR5 から AR6 にかけて急増し、AR5 以降、「証拠」への言及が重視されるようになってきたことが示唆されるなど、いくつかの時流変化を読み取ることができた。

IV. 専門用語から変化を読む

1. 専門用語の抽出

IPCC 評価報告書にはその時々最新の科学的知見が含まれており、専門用語の出現頻度の変化が SPM の時流変化を明らかにする上で手掛かりとなる可能性がある。

そこで、専門用語の抽出を行った。4 つの SPM には 1,676 種類の名詞（代名詞等を除く）が含まれ

ている。ここでは、変動係数¹⁸が 0.5 以上、かつ総出現頻度 2 回以上の単語をリストアップし、その中から気候変動分野特有の専門用語を抽出した。得られた 105 種類の専門用語を《図表 11》に示す。

《図表 11》SPM 間の頻度の変動係数が 0.5 以上で総頻度 2 回以上の専門用語

放射強制力	北極域	エルニーニョ	IS	酸性化
排出	モンスーン	自然変動	海洋酸性化	持続可能性
SSPシナリオ	炭素	正味ゼロ	硫酸塩	オゾン層
RCPシナリオ	極端現象	残余カーボンバジェット	パーフルオロカーボン	適応
エーロソル	農業及び生態学的干ばつ	硫酸	しきい値	緩和
気候モデル	一酸化炭素	潜在	アルベド	カーボンバジェット
平均海面水位	排出シナリオ	蓄積	ハイドロフルオロカーボン	ティッピングポイント
二酸化炭素排出量	貯熱量	氷床コア	SREX	マルチモデルアンサンブル
強制力	極端な高温	相殺	結合モデル	対流圏オゾン
累積	太陽放射	大西洋子午面循環	成層圏オゾン	フラックス
SRESシナリオ	炭素循環	土地利用変化	クロロフルオロカーボン	ハイドロクロロフルオロカーボン
結合モデル相互比較プロジェクト	土壌水分	累積炭素排出量に対する過渡的気候応答(TCRE)	アンサンブル	水素
駆動要因	最良推定値	吸収量	熱塩循環	硝酸塩
平均地上気温	二酸化炭素除去	生態系	大気海洋大循環モデル	砂じん
正味	永久凍土	黒色炭素	前駆物質	都市化
海水面積	二酸化硫黄	炭素換算	六フッ化硫黄	エネルギーフラックス
内部変動	湿潤	水循環	窒素酸化物	生物多様性
熱帯低気圧	気候応答	深層	振動	平衡性
熱波	水蒸気	エルニーニョ・南方振動	大気汚染物質	イベント・アトリビューション
フィードバック	線形	炭素吸収源	太陽放射管理(SRM)	摂動
気候影響駆動要因	ハロカーボン	不可逆	台風	ヒートアイランド

(出典) IPCC 第 3~6 次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

2. コサイン類似度を利用した専門用語の分類

(1) コサイン類似度による類似度行列の作成

抽出された専門用語は、TAR で頻出したものや AR6 で初めて登場したものなど、出現頻度のパターンをもとに、幾つかのグループに分類できると予想される。そこで、専門用語ごとの各 SPM での頻度を素性ベクトル (4 つの要素を持つ一次元配列) とし、頻度パターンの類似性・近縁性をコサイン類似度¹⁹により評価することとした。コサイン類似度とは、2 つのベクトルの向きを定量化するもので、この場合は 0~1 の値をとる。値が 1 ならば 2 つのベクトルの向きが完全に一致し、完全に似ていると判定できる。また、値が 0 ならば 2 つのベクトルの向きが直交しており、全く似ていないと判定できる。A₁ という専門用語の TAR、AR4、AR5、AR6 での出現率がそれぞれ a₁、b₁、c₁、d₁ であり、A₂ という用語の出現率が同様に a₂、b₂、c₂、d₂ である場合の A と B のコサイン類似度は次式で求められる。

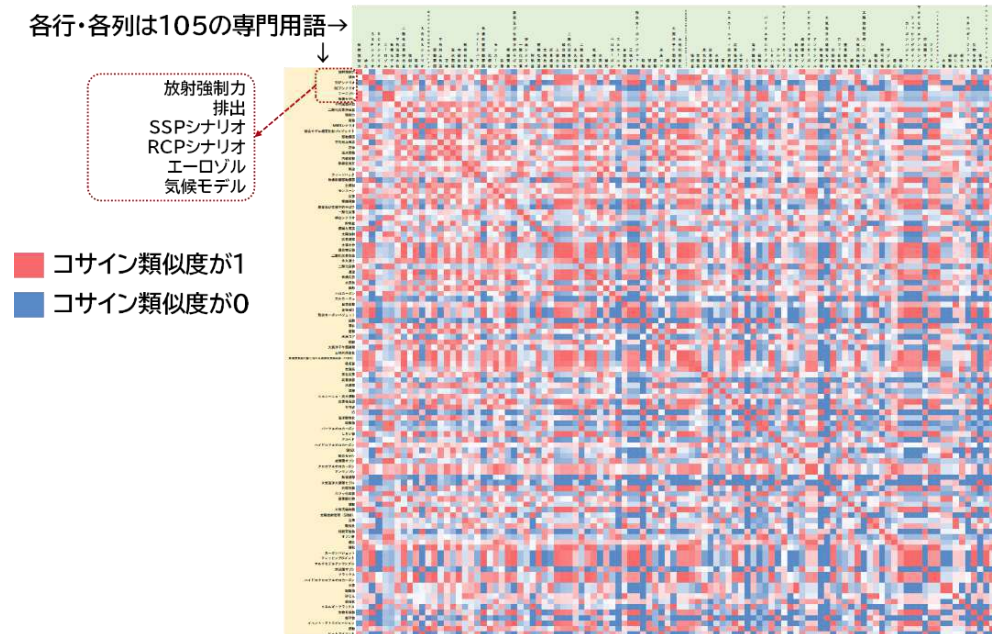
$$(a_1 \times a_2 + b_1 \times b_2 + c_1 \times c_2 + d_1 \times d_2) \div \left(\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 + d_1^2} \times \sqrt{a_2^2 + b_2^2 + c_2^2 + d_2^2} \right)$$

これを 105 種類の専門用語同士で求めると 105 行×105 列の行列が得られる。《図表 12》は得られた行列をヒートマップとして表現したものである。赤色はコサイン類似度が 1 に近いことを表し、青色は 0 に近いことを表している。この図の縦方向または横方向の縞模様が似たものを集めれば、SPM 間での出現率のパターンが似たものをグルーピングすることができる。

¹⁸ 前脚注 11

¹⁹ ここで扱う専門用語には出現頻度に大きな差があるため、それぞれの素性ベクトルの大きさは大きく異なる。このため、類似性・近縁性の評価では、素性ベクトルの大きさが評価結果に影響を与えない方法であるコサイン類似度を用いた。

《図表 12》 専門用語ごとの素性ベクトルのコサイン類似度行列（ヒートマップ表示）

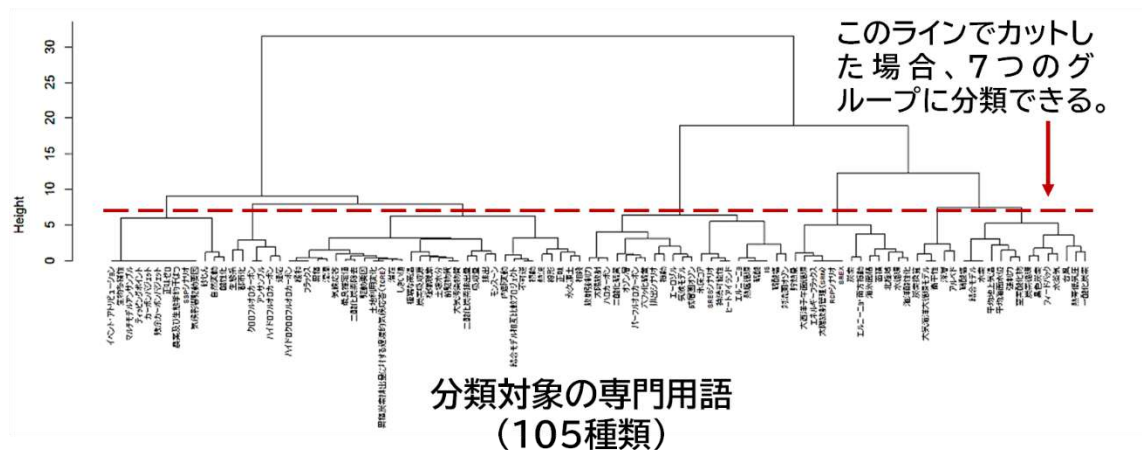


(出典) IPCC 第3~6次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

(2) 階層的クラスター分析による専門用語の分類

コサイン類似度行列を用いて、Rで階層的クラスター分析を行った。計算では代表的な方法であるウォード法を用いた。得られたデンドログラムを《図表 13》示す。《図表 12》に示したコサイン類似度行列を、クラスター分析の結果をもとにソートすると《図表 14》が得られる。

《図表 13》 コサイン類似度行列を用いた専門用語のクラスター分析結果

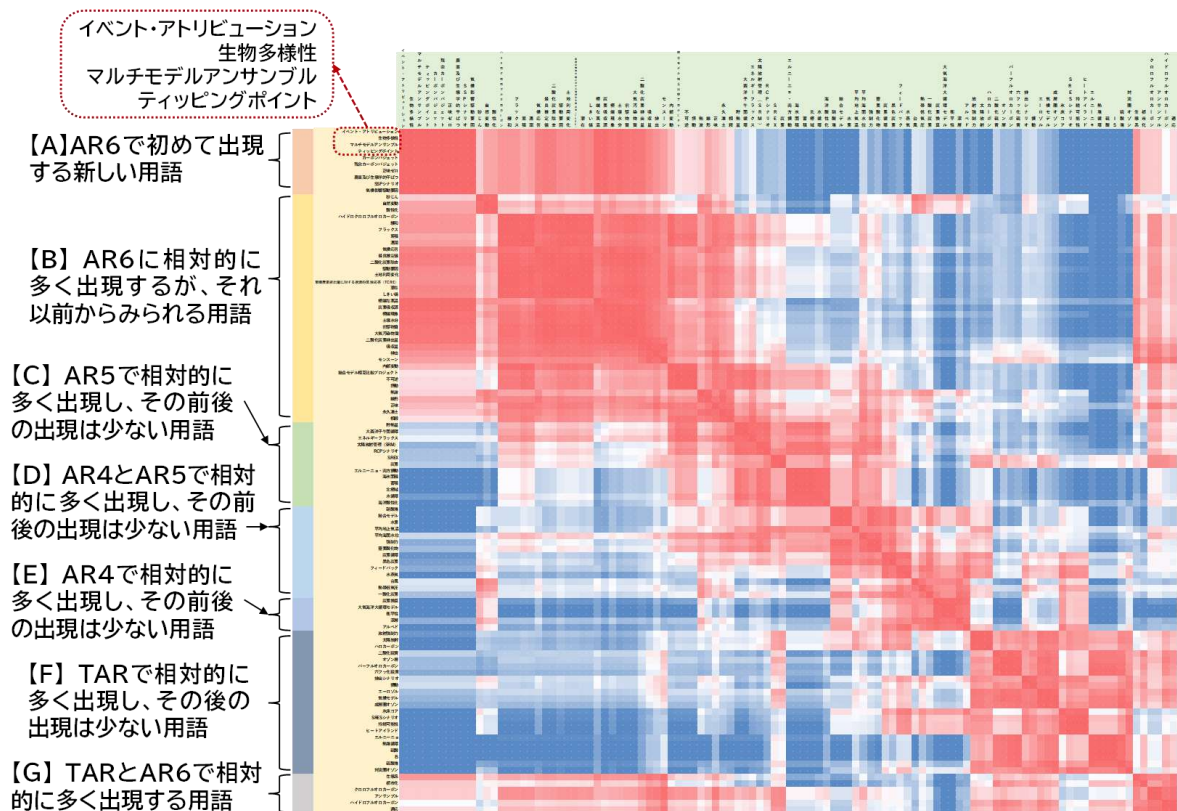


(出典) IPCC 第3~6次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

(3) 専門用語の分類結果

以上の結果から、105種類の専門用語を、SPMでの出現パターンが異なる7グループに分類した(以下のカッコ内の「無」、「有」、「多」、「少」は、4つのSPMにおける頻度の相対的な大小を意味する)。

《図表 14》 図表 12 のコサイン類似度行列をクラスター分析結果によりソートしたもの



(出典) IPCC 第3~6次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

- ・グループ A : AR6 で初めて出現する新しい用語 (無→無→無→有)
イベント・アトリビューション、生物多様性、マルチモデルアンサンブル、ティッピングポイント、カーボンバジェット、残余カーボンバジェット、正味ゼロ、SSP シナリオ、気候影響駆動要因など。
- ・グループ B : AR6 で相対的に多く出現するが、その以前からみられる用語 (少→少→中→多)
累積炭素排出量に対する過渡的気候応答 (TCRE)、しきい値、内部変動、熱波、極端現象、二酸化炭素除去、気候応答など。
- ・グループ C : AR5 で相対的に多く出現し、その前後の出現は少ないもの (少→少→多→少)
RCP シナリオ、海氷面積、北極域、炭素、貯熱量、蓄積、大西洋子午面循環、水循環、エルニーニョ・南方振動海洋酸性化、太陽放射管理 (SRM) など。
- ・グループ D : AR4 と AR5 で相対的に多く出現し、その前後の出現は少ないもの (少→多→多→少)
フィードバック、炭素循環、強制力、熱帯低気圧、水蒸気、黒色炭素、結合モデル、窒素酸化物、台風、水素など。
- ・グループ E : AR4 で相対的に多く出現し、その前後の出現は少ないもの (少→多→少→少)
深層、アルベド、大気海洋大循環モデル、衡平性など。
- ・グループ F : TAR で相対的に多く出現し、その後の出現は少ないもの (多→少→少→少)
放射強制力、エアロゾル、気候モデル、SRES シナリオ、排出シナリオ、太陽放射、氷床コア、硫酸塩、二酸化硫黄、成層圏オゾン、熱塩循環、対流圏オゾン、ヒートアイランドなど。

- ・グループ G：TAR と AR6 で相対的に多く出現するもの（多→少→少→多）
生態系、ハイドロフルオロカーボン、適応、都市化など。

3. 専門用語の出現パターンからみる SPM の変化

前項の分類結果は、SPM の変化について、少なくとも 7 通りの変化があることを示している。また、各グループに含まれる専門用語は、その変化の内容や背景を示唆していると考えられる。さらに、この分類結果には、第Ⅲ章での分析とは違って、ごく一般的な単語がほとんど含まれておらず、出現頻度の低い専門用語も含まれている。そのため、SPM の時流変化とその背景を科学研究の進展と絡めて分析する上で、使いやすい情報だといえる。分類結果から読み取れる SPM の変化の一部を以下に整理する。

①グループ F に「放射強制力」、「エアロゾル」、「硫酸塩」、「二酸化硫黄」が含まれる背景²⁰

大気中に浮遊する微粒子である「エアロゾル」には色々な種類があり、その一部は地球を冷却する効果（負の「放射強制力」）をもつことが知られている。人為的な「エアロゾル」には、「硫酸塩」や硝酸塩、黒色炭素などがあり、「硝酸塩」の発生源の 1 つが人間活動により排出される「二酸化硫黄」である。TAR の作成当時は、「エアロゾル」の性質や空間分布などの不確実性が非常に大きく、前述したとおり、「エアロゾル」全体の負の「放射強制力」が人為起源の二酸化炭素による正の「放射強制力」を相殺するほど大きい可能性も指摘されるなど、評価の焦点の一つとなっていた。その後の研究で、「エアロゾル」の「放射強制力」に関する不確実性は減少し、この問題は相対的に鎮静化していった。

以上の説明の中に「放射強制力」、「エアロゾル」、「硫酸塩」、「二酸化硫黄」が含まれることからわかるとおり、各グループに含まれる専門用語は、各 SPM の内容の変化やその科学的な背景を表すキーワードだと考えることができる。

②グループ D に「フィードバック」、「炭素循環」が含まれる背景

地球温暖化の進行（二酸化炭素濃度の増加や気温の上昇等）が別の変化（海洋の酸性化や氷床の融解等）を引き起こし、その変化が地球温暖化の進行を加速させたり、逆に抑制したりすることを「フィードバック」という（加速させる場合は正の「フィードバック」、抑制する場合は負の「フィードバック」）。

①に示したとおり、TAR では、エアロゾルに関する科学的な不確実性の大きさへの評価が大きな焦点になったが、それに引き続いて AR4 では、地球温暖化の「炭素循環フィードバック」の問題が大きく取り上げられた。「炭素循環フィードバック」とは、地球温暖化が海洋や陸域の CO₂ の吸収・放出など、いわゆる「炭素循環」に影響を与えることによって、地球温暖化を加速したり抑制したりする作用のことをいう。このような「フィードバック」には、「炭素循環フィードバック」以外にも、「雲フィードバック」（温暖化と雲の生成・消失の変化との関係であり、①の「エアロゾル」とも関係が深く、TAR において、地球温暖化の将来予測に大きな不確実性をもたらすことが指摘されていた）や「水蒸気フィー

²⁰ 各 SPM での「放射強制力」、「エアロゾル」の頻度変化については、頻出語として、第Ⅲ章の 1（2）で取り上げたが、本章の分類結果では「硫酸塩」、「二酸化硫黄」のような頻度が低い専門用語も捕捉されている。このため、重複する部分もあるが、各専門用語が TAR で多く出現した背景を各用語の関係性を含めて改めて整理する。

ドバック」、「雪氷の反射率（アルベド）に関するフィードバック」²¹などがある。

このような「フィードバック」は総じて科学的な不確実性が大きく、気候モデルによる将来予測の信頼性を低下させる要因となるため、研究が精力的に進められてきた。AR4の作成当時は、特に「炭素循環フィードバック」の不確実性が懸念され、これが「雲フィードバック」と同規模の不確実性をもたらすとすれば、将来予測の信頼性を高めていく上で障壁となるとみられていた²²。その後AR5にかけて、「炭素循環」をはじめとした様々なフィードバックに関する研究が進展し、気候モデルによる将来予測での計算に研究成果が反映されるなどしていった。このようなことが、「フィードバック」や「炭素循環」がAR4やAR5で頻出する背景だと考えられる。

なお、同じグループに分類されている「水蒸気」は「水蒸気フィードバック」と関係した用語であり、「黒色炭素」についても「雪氷の反射率（アルベド）に関するフィードバック」と関係した用語である。それらが同じグループとして補足されていることは、今回の分類結果が科学的な時流変化に整合していることを改めて示していると考えられる。

また、「フィードバック」という用語の出現頻度はAR6で低下したが、一方で、グループBに分類された「しきい値」やグループAに分類された「ティッピングポイント」（転換点）²³など、「フィードバック」と関連性のある用語がAR6で登場している点は興味深い。

③グループBに「累積炭素排出量に対する過渡的気候応答（TCRE）」が含まれ、Aに「正味ゼロ」、「カーボンバジェット」が含まれる背景

「累積炭素排出量に対する過渡的気候応答（TCRE）」、「正味ゼロ」²⁴、「カーボンバジェット」は、いずれもカーボンニュートラルと関連した用語である。

特に、「累積炭素排出量に対する過渡的気候応答（TCRE）」は、AR5で提示された新たな指標であり、AR5の主要トピックの一つである。世界平均気温の上昇量が人為起源の二酸化炭素累積排出量にほぼ比例する（両者の関係をグラフにするとほぼ直線になる）ことを意味し²⁵、将来の平均気温の上昇量を求めるのであれば、これまでのCO₂累積排出量に一定値を掛け算するだけでよいことになる。その逆に、気温上昇量をある大きさ以下（例えば1.5℃以下）に抑えるために、今後の人為的なCO₂排出量をどこまで抑える必要があるかという計算も簡単にできることになる²⁶。なお、気温上昇量をある大きさに抑えることができる今後の排出量とそれ以前に排出された量を合計したものが「カーボンバジェット」と呼ばれる。これらの知見が、パリ協定での1.5℃目標、2℃目標の設定や、その実現に必要なカーボン

²¹ 国立研究開発法人 国立環境研究所「ココが知りたい地球温暖化 Q15 温暖化は暴走する？」江守正多（2010年3月）
<https://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/20/20-2/qa_20-2-j.html> (visited 17 Feb.,2023)

²² 伊藤昭彦「気候－炭素循環フィードバック」、「天気」57. 5. p348
<https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2010/2010_05_0060.pdf> (visited 17 Feb.,2023)

²³ 一般財団法人環境イノベーション情報機構「環境用語集」
<<https://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=4797>> (visited 17 Feb.,2023)

²⁴ 「累積炭素排出量に対する過渡的気候応答（TCRE）」に含まれる「累積」、「正味ゼロ」に含まれる「正味」については、頻出語として、第III章の1（2）⑤で概要を説明した。

²⁵ 一般財団法人環境イノベーション情報機構「環境用語集」
<<https://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=4614>> (visited 17 Feb.,2023)

²⁶ AR6では、「累積CO₂排出量が1000GtCO₂増えるごとに、世界平均気温が0.27～0.63℃上昇する可能性が高く、最良推定値は0.45℃と評価される」とされている。

ニュートラルという概念を科学的に支えたと言われている。

なお、SPM では、カーボンニュートラルという用語自体は登場しておらず、これに相当する用語として、AR5 以降は「正味 (の)」が使われ、AR6 では「正味ゼロ」(いわゆるネットゼロ) も登場している。

いずれにせよ、TCRE が登場した AR5 以降、世界の気候変動政策が掲げる目標は低炭素社会からカーボンニュートラルやネットゼロへと大転換され、これに伴い様々な用語が登場した。

④グループ B に「内部変動」、「極端現象」が含まれ、グループ A に「イベント・アトリビューション」が含まれる背景

気候の変動には、自然の変動があることが知られており、「内部変動」²⁷と呼ばれている。世界平均気温の上昇傾向は 2000 年から 10 年間ほど停滞したこと (ハイエイタスと呼ばれる) が知られており、その間も人為的な CO₂ の排出量は増加していたことから、「内部変動」による可能性を含めて、その原因が話題となった。AR5 でも、「内部変動」によって観測結果と気候モデルによる予測結果との違いが引き起こされる可能性が指摘されており、「内部変動」の科学的不確実性の低減が課題となっていた。なお、その後の研究によって、ハイエイタスの主要な原因の一つは「内部変動」であると考えられている²⁸。

また、世界各地で甚大な自然災害が続発したことを受けて、「極端現象」(極端な気象現象等) の原因が人為的な地球温暖化によるものなのか否かという点に、社会的な関心が集まるようになった。

このような背景のもとで、AR5 以降、特に注目が集まるようになったのが「イベント・アトリビューション」である。これは、大量の気候シミュレーションによって、極端現象の発生確率や強さに対する人為起源の地球温暖化の影響を定量化することを目的とした技術である²⁹。この方法によって、極端現象が発生した際に、そこに人為起源の地球温暖化がどのくらい寄与していたのかが定量的に推定できるようになった。今後、技術の進展によって、極端現象の発生原因の特定につながる事が期待される³⁰。

以上のとおり、分類結果から、AR5 での「内部変動」、「極端現象」に対する科学的・社会的ニーズの高まりと、それを受けた AR6 での「イベント・アトリビューション」の登場という流れを読み取ることができる。

4. 小括

SPM の時流変化を明らかにする目的で、IPCC 評価報告書に含まれる専門用語の出現頻度パターンに着目して分析を行った。

具体的には、頻度分析の結果を利用して、SPM 間の出現頻度の変動係数が一定値以上の専門用語を 105 種類抽出し、その上で、それらの近縁性をコサイン類似度により評価して、クラスター分析により SPM 間の出現パターンが異なる 7 つのグループに分類した。

²⁷ 火山噴火のように気候システム以外の要因による変動も人間活動とは無縁の変動であるが、内部変動には含まれない。

²⁸ ハイエイタスや内部変動に関する当時の研究状況については、拙著 *Insight Plus* 「気候変動対策へのモチベーションは持続的か (1) ~緩和策に内在する将来課題について~」、2022 年 8 月 31 日を参照されたい。

²⁹ 文部科学省、気象庁気象研究所報道発表「令和 4 年 6 月下旬から 7 月初めの記録的な高温に地球温暖化が与えた影響に関する研究に取り組んでいます。ーイベント・アトリビューションによる速報ー」2022 年 9 月 6 日

³⁰ イベント・アトリビューションの更なる活用については、拙著 *Insight Plus* 「気候変動対策へのモチベーションは持続的か (3) ~緩和策に内在する将来課題について~」、2022 年 10 月 14 日を参照されたい。

その結果、得られた分類は、SPM 間の頻度の変化と内容の変化の両方を表したものになっていること、第Ⅲ章の分析とは違い、扱う単語が専門用語だけのため、SPM の変化を科学研究の進展と絡めて分析しやすいことがわかった。加えて、分類結果には出現頻度の高い専門用語だけでなく、限られた SPM だけに出現するものも含まれるため、頻出語を利用する場合に比べ、より深い分析に役立つといえる。

本稿では分析の一例として、「放射強制力」や「エアロゾル」といった SPM 全体を通じての頻出語と、一部の SPM にしか登場しない「硫酸塩」や「二酸化硫黄」といった用語が当時の科学的不確実性を背景に密接な関係にあることなどを示した。また、分類結果を利用した SPM の変化の分析を通じて、今回の分類結果が科学的な時流変化に整合していることを確認した。

V. 可能性や確信度の表現から変化を読む

1. 可能性や確信度に関する統一表現の抽出

(1) 可能性や確信度に関する統一表現

IPCC の評価報告書の大きな特徴は、主要な科学的知見についての可能性や確信度が統一的な表現で示されていることである。特に AR5 以降は、これらの表現に関して、ある知見の妥当性の度合いを表す「確信度」を定性的な階級で表現し、可能であれば定量的な「可能性」を確率的に表現するという方針がとられている。確信度や可能性の判断の方法については、確信度の場合、証拠の種類や量、質、一貫性（例えば、データ、メカニズムの理解、理論、モデル、専門家の判断）および見解の一致度に基づくこととされ、可能性については、観測値あるいはモデル結果、あるいはその両方の統計的分析や専門家の判断に基づくこととされている³¹。

「可能性」に関する統一表現は、TAR から AR6 まで、大きな変更がなく継続的に用いられてきた。《図表 15》に AR4 での表現の定義を示す。本稿では、この統一表現を各 SPM から抽出し、それらの比較を行う。なお、表現や評価区分の詳細をみると、TAR と AR4、さらには AR5 以降で異なる部分もある³²が、ここでの分析には特段の支障はないと考えられる。

一方、「確信度」に関する統一表現は AR4 から採用され、TAR では使われていない。また、確信度の判断手順や方法に関するガイダンスが AR4 の公表後、AR5 の公表前に作成された。そのため、AR4 と AR5 以降との間で表現をそのまま対比させることは厳密に言えば適当でない可能性もある。ただし、表現自体は、「確信度が非常に低い」、「確信度が低い」、「中程度の確信度」、「確信度が高い」、「確信度が非常に高い」という 5 段階の表現が AR4 から AR6 まで継続されており、判断基準にも大きな変更はないことから、比較分析には大きな支障がないと考えられる。また、SPM には「疑う余地がない」という表現もみられる。この表現は IPCC による確信度の統一表現には含まれていないが、本項では、確信度に関連した表現の 1 つとみなして抽出・分析の対象とした。

³¹ 前脚注 6

³² TAR では「かなり」という表現が使われており、AR4 以降の「非常に」と「極めて」に相当する。また、TAR では確率がある値以上か否かで区分されるのに対して、AR4 以降では確率がある値を超えるかどうかで区分されている。そのほか、AR5 以降では、表中の「*」以外の表現が基本とされ、「*」の表現は適切な場合に追加で用いることができると位置づけられている。

《図表 15》IPCC による可能性に関する統一表現（AR4 の場合）

「可能性」の定義

用語	発生する可能性	第3次評価報告書日本語訳での用語	
ほぼ確実	virtually certain	99%を超える確率	ほぼ確実
可能性が極めて高い	extremely likely	95%を超える確率	* 可能性がかなり高い
可能性が非常に高い	very likely	90%を超える確率	
可能性が高い	likely	66%を超える確率	可能性が高い
どちらかと言えば	more likely than not	50%を超える確率	* どちらとも言えない
どちらも同程度	about as likely as not	33～66%の確率	
可能性が低い	unlikely	33%未満の確率	可能性が低い
可能性が非常に低い	very unlikely	10%未満の確率	
可能性が極めて低い	extremely unlikely	5%未満の確率	* 可能性がかなり低い
ほぼあり得ない	exceptionally unlikely	1%未満の確率	可能性が極めて低い

*：原因特定と放射強制力の評価のために第1作業部会報告書で使用している用語

(出典)「IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約」(気象庁)別紙

(2) 統一表現を含む文章の抽出

各 SPM から、「可能性」に関する統一表現³³と、「確実性」に関する統一表現³⁴を含む一文を抽出した(ここでの一文の判断は原則として句点を基準にした)。また、実際の SPM には、例えば「可能性が高い」という表現の場合、「可能性は高い」、「可能性は高く」といった微妙に異なる表現もみられ、「確信度が高い」という表現であれば、「高い確信度」、「確信度は高く」といった表現もみられるため、それらを含めて抽出を行った。

2. 統一表現を含む文章の量的変化からみた SPM の変化

(1) 「可能性」に関する統一表現の場合

「可能性」に関する統一表現の抽出結果を《図表 16》に示す。各 SPM での抽出箇所数は、TAR で 46 箇所、AR4 で 52 箇所、AR5 で 110 箇所、AR6 で 72 箇所の計 280 箇所であった。AR5 から AR6 にかけて減少がみられるが、全体としては増加傾向にある。可能性の度合いについては、いずれの SPM においても、全体の 9 割が、発生確率が 50%を超える表現(「ほぼ確実」から「どちらかと言えば可能性が高い」までの表現)で占められている。これだけを見ると、IPCC では発生可能性の高い事象ばかりを評価して、可能性が低い事象を評価していないなど、評価に偏りがあるように思えてしまうが、これは可能性に関する表現のもつ特性によるものである。ある事象 A について、それが発生する確率を α とすると、発生しない確率は $1-\alpha$ となる。このため、 α が 80%の場合であれば、事象 A の発生確率は「可能性が高い」と表現されるが、それと同時に、事象 A が発生しない確率は 20%であるため「可能性が低い」と表現することもできる。SPM の中で、可能性が低いという表現が実際に使われている例をみ

³³ 《図表 15》の 10 通りの表現に、脚注 32 に示した TAR での 2 通りの表現(かなり高い、かなり低い)を加えた 12 通りの表現。

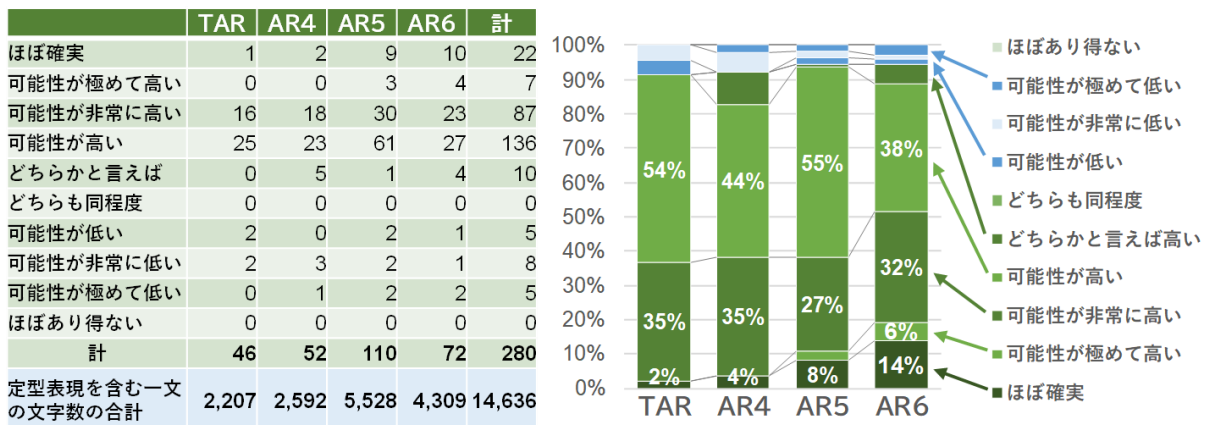
³⁴ ここでは、IPCC の区分による 5 通りの表現に、「疑う余地がない」という表現を加えた 6 通りの表現とした。

ると、AR6では、「過去10年に観測された最近の極端な高温の一部は、気候システムに対する人間の影響なしには発生した可能性が極めて低いだろう。」と記載されている。これは、可能性が極めて高い事象（この場合であれば、観測された極端な高温の一部に人間の影響があった可能性）に対して、その裏返しとなる表現が用いられているに過ぎない。このため、「可能性」に関する統一表現で注目すべきは、発生可能性が50%を超える場合に使われる5つの表現（「ほぼ確実」から「どちらかと言えば可能性が高い」までの表現）の比率の変化ということになる。

《図表16》の右側のグラフに、各SPMにおける評価区分の比率を示した。この図から、「ほぼ確実」（99%以上）または「可能性が極めて高い」（95%以上）という評価区分の占める割合が着実かつ大幅に増加していることがわかる。この区分の占める割合はTARで2%であったものが、AR6では20%へと大きく増加している。評価のたびに、発生可能性の高い事象ばかりを評価対象に加えた場合でも同様の結果が得られることにはなるが、数千人規模の専門家が関わる評価作業において、そのようなことが連続して起きたとは考えにくい。したがって、「ほぼ確実」、「可能性が極めて高い」という評価区分の占める割合が明瞭に増加してきたことは、自然科学的な根拠に関する研究が大きくかつ着実に進展してきたことを強く示唆する結果だと考えることができる。

その一方で、AR6においても、「どちらかといえば可能性が高い」（50%より高い）または「可能性が高い」（66%以上）という、確率的なオッズ（発生する確率と発生しない確率の比であり、発生確率が50%の場合は1となる）が大きいとはいえないものが全体の4割超を占めている。その点から考えると、現在もなお、更なる研究が待たれる知見・事象が数多く残されていることがわかる。

《図表16》各SPMにおける「可能性」に関する統一表現の数



(注1) 上表ではTARで使われた「可能性がかなり高い」を「可能性が非常に高い」に計上した

(注2) 最下行の文字数は、定型表現自体の文字数（「ほぼ確実」であれば4文字）を除く文字数である

(出典) IPCC第3~6次評価報告書WG1-SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

(2) 「確信度」に関する統一表現の場合

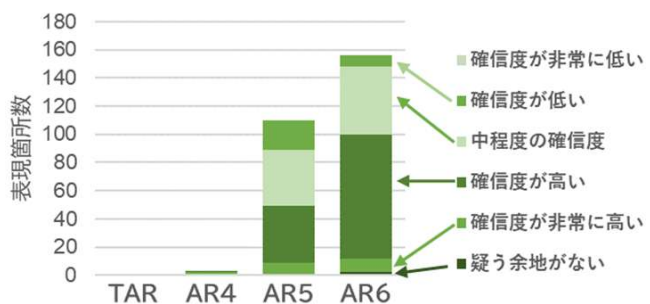
「確信度」に関する統一表現の抽出結果を《図表17》に示す。各SPMでの抽出箇所数は、TARで0箇所、AR4で3箇所、AR5で110箇所、AR6で156箇所の計269箇所であった。前述のとおり、AR5で一気に増加し、AR6でも更に増加したということになる。

この変化で特筆すべきことは、「確信度が高い」という表現の占める割合がAR5で36%であったものが、AR6では56%に大きく増加したことである。このことは、評価結果を確率によって定量的に評価できない知見や事象に関する研究分野においても、AR5からAR6にかけての研究の進展が大きかったことを間接的に示唆する結果だと考えられる。

一方で、「確信度が非常に高い」という評価については、AR5で8箇所、AR6では10箇所であり、確信度の評価全体数の伸びとは異なり、あまり増加していない。各SPMでの確信度の評価数に占める割合は、AR5での7%から、AR6では6%へと低下している。このことは、気候変動に関する知見や事象に関する確信度を更に高めていくことの難しさを示唆するものといえる。

《図表 17》各 SPM における「確信度」に関する統一表現の数

	TAR	AR4	AR5	AR6	計
疑う余地がない	0	1	1	2	4
確信度が非常に高い	0	1	8	10	19
確信度が高い	0	1	40	88	129
中程度の確信度	0	0	40	48	88
確信度が低い	0	0	21	8	29
確信度が非常に低い	0	0	0	0	0
計	0	3	110	156	269
定型表現を含む一文の文字数の合計	0	116	6,944	10,505	17,565



(注) 最下行の文字数は、定型表現自体の文字数（「確信度が高い」であれば6文字）を除く文字数である。

(出典) IPCC 第3~6次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

3. 統一表現を含む文章の質的变化からみた SPM の変化

(1) 統一表現を含む文章の内容の分類

前項では、抽出された統一表現の数や比率など量的な変化から SPM の内容の変化を探った。本項では、「可能性」や「確信度」の統一表現を含む文章の内容をもとに、各 SPM での評価結果の比較分析を行い、SPM の内容変化を探る。

前項で示したとおり、「可能性」に関する統一表現を含む文章は280に上り、「確信度」に関する統一表現についても269という多くの文章に含まれている。そのような統一表現を含む文章の総文字数は、前者で1万4千字、後者で1万7千字を超えるため、それらの文章の内容を比較して評価対象や評価内容を細かく分類・整理する作業には、相当な労力が必要になる。

そこで、抽出された文章を相互に比較しやすくするため、文章に含まれる評価対象（知見・事象）や評価内容が類似しているものを機械的にグルーピングすることとした。本来であれば、単語の意味や関係性を用いて言語学的に分類する、あるいは、SPM 内での出現箇所と目次構成との関係性を用いて構造的に分類するなど、高度な分類方法もあると思われるが、本稿では、単語の頻度分析結果が既に得られているため、これを用いて簡易な分類を行うこととした。分類の手順は、「可能性」に関する統一表現、「確信度」に関する統一表現のどちらについても、次に示すとおりとした。

①分析対象の各文章の素性ベクトルの作成

- ・SPMの一部をランダムに取り出し、その中から、「過去」、「であった」など過去を表す表現、「21世紀末」、「予測」など将来を表す表現、「原因」、「寄与」など根拠に関する表現、「人間の影響」、「人類による」など人間活動の影響に関する表現をリストアップ（40種類）。
- ・分析対象の文章ごとに、文中に上記の表現が含まれているかどうかを調べ、含まれている場合は1、含まれていない場合は0を要素とする要素数40の一次元配列を作成。
- ・第II章で実施した形態素解析と頻度分析の結果をもとに、4つのSPM全体での出現頻度が計3回以上である904の単語をリストアップ。
- ・分析対象の文章ごとに、文中に上記の単語が含まれているかどうかを調べ、含まれている場合はその単語の出現頻度の逆数、含まれていない場合は0を要素とする要素数904の一次元配列を作成。
- ・分析対象の文章ごとに、2つの一次元配列から要素数944の素性ベクトルを作成。

②素性ベクトルを用いたコサイン類似度行列の作成

第IV章の2の方法と同様に、①で作成した各文章の素性ベクトル（「可能性」に関して280のベクトル、「確信度」に関して269のベクトル）の間でコサイン類似度を算出し、コサイン類似度行列を作成。

③クラスター分析による文章の仮分類

第IV章の2の方法と同様に、②のコサイン類似度行列に対して、ウォード法による階層的クラスター分析を行い、分類対象の文章を、デンドログラムを参考にして仮分類（「可能性」については39のグループ、「確信度」については14のグループに分類）。

④仮分類結果をもとにしたリストの作成

各文章を、③で求めた仮分類結果をもとにソートして、SPMごとに整理することによって、文章中に含まれる知見や事象が類似した文章を集めたリストを機械的に作成。

⑤評価結果をSPM間で比較可能なもの（同一の知見・事象の評価を含む文章）の抽出・整理

④で作成したリストをもとに、共通した知見・事象の可能性や確信度を取り扱っている文章を選び出し、それらの可能性や確信度に関する評価結果がSPM間で比較可能かどうかを精査。

（2）「可能性」に関する統一表現の場合

①SPM間で比較が可能な「可能性」に関する評価結果の抽出

「可能性」に関する統一表現を含む文章の中から、評価結果（ここでは可能性の区分）を複数のSPMで比較できるものを抽出した。その結果を《図表18》に示す。なお、後述するが、この表の作成には筆者の解釈が多分に含まれていることに注意が必要である。

この表では、全部で34の知見・事象についての評価結果の推移を、95箇所の統一表現を用いて整理した。「可能性」に関する統一表現の抽出数が280箇所であったことから考えると、「可能性」に関する

《図表 18》 IPCC・WG1 評価報告書 SPM から抽出した「可能性」に関する評価結果

評価の対象となった科学的な知見や事象		AR3	AR4	AR5	AR6
過去	グリーンランド氷床の融解が12万5千年前の海面水位上昇を招いた可能性		66%~ 90%~		*1
	約125,000年前の海面水位が現在よりも高かった可能性		66%~		66%~ *2
20世紀以降の変化	ほとんどの陸域で最高気温が上昇し暑い日が増加した可能性	66%~	90%~	90%~	
	ほとんどの陸域で極端な高温/熱波の頻度が増加した可能性	90%~	66%~	66%~	99%~ *3
	干ばつが増加した可能性	66%~	66%~	66%~	66%~ *4
	ほとんどの陸域で寒い日や寒い夜が減少した可能性	90%~	90%~	90%~	
	大雨の頻度や強度が増加した可能性	66%~	66%~	66%~	66%~
	グリーンランドの氷床が減少している可能性		90%~	90%~	
	北極域の海水面積が減少している可能性	66%~		90%~	
変化への人間影響の寄与	温暖化が人間の影響による可能性	66%~	90%~	95%~	
	海面水位の上昇が人間の影響による可能性		90%~	90%~	90%~
	熱波の頻度の増加が人間の影響による可能性		50%~	66%~	
	干ばつの増加が人間の影響による可能性		50%~	66%~	
	陸域での寒い日・寒い夜の頻度の減少や昇温が人間の影響による可能性		66%~	90%~	
	陸域での暑い日・暑い夜の頻度の増加や昇温が人間の影響による可能性		66%~	90%~	
	北半球における春季の積雪面積の減少が人間の影響による可能性			66%~	90%~
	氷河の後退が人間の影響による可能性			66%~	90%~ *6
	グリーンランド氷床の融解が人間の影響による可能性			66%~	90%~
	北極域の海水の減少が人間の影響による可能性			90%~	90%~
	海面付近の塩分の変化が人間の影響による可能性			90%~	95%~
	海面水位が21世紀末まで上昇し続ける可能性			90%~	99%~
	極端に高い潮位の発生が増加する可能性		66%~	90%~	
今後21世紀の変化	ほとんどの陸域で暑い日や暑い夜の頻度の増加や昇温が継続する可能性	90%~	99%~	99%~	
	ほとんどの陸域で継続的な高温/熱波の頻度の増加が継続する可能性		90%~	90%~	
	干ばつが増加する可能性	66%~	66%~	66%~	
	ほとんどの陸域で寒い日や寒い夜の頻度の減少や昇温が継続する可能性		99%~	99%~	
	大雨の頻度が増加する可能性	90%~	90%~	90%~	90%~
	降水量が高緯度帯と太平洋赤道域、モンスーン地域の一部で増加する可能性		90%~	66%~	90%~
	降水量が亜熱帯の一部などで減少する可能性		66%~	66%~	90%~
	21世紀に、熱帯低気圧の最大風速や降水強度が増加する可能性	66%~	66%~		
	エルニーニョ・南方振動に関連した降雨の変動が大きくなる可能性	66%~		66%~	90%~
	グリーンランドの氷床が減少を続ける可能性	66%~		66%~	99%~
	北極域の海水面積が減少し、2050年には9月に海水のない状態となる可能性			66%~	66%~
大西洋子午面循環が21世紀を通じて弱まる可能性		90%~	90%~	90%~	

*1 AR4 では多くとも 4m 程度、AR5 では 1.4~4.3m 寄与と評価
 *2 AR4 では 4~6m 高かったとの評価、AR6 では 5~10m 高かったと評価
 *3 AR4 では若干増加した可能性を 90%以上と評価
 *4 AR6 では干ばつの頻度の増加率を定量評価
 *5 AR5 では氷河の減少率の増加傾向を指摘
 *6 AR5 は 1960 年代以降についての評価、AR6 は 1990 年代以降についての評価
 (出典) IPCC 第 3~6 次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

統一表現のうち、評価結果を SPM 間で比較できるものは一部に限られているといえる。この要因としては、評価結果の書きぶりが SPM 間でかなり異なっていることが挙げられる。ここで、その具体例を示したい。上表では、「今後 21 世紀の変化」の「ほとんどの陸域で暑い日や暑い夜の頻度の増加や昇温が継続する可能性」についての評価結果が TAR、AR4、AR5 で比較可能だと解釈し、それぞれの評価ランクを記載してある。しかし、それらの各 SPM での実際の記載は次のようなものである。

・TAR では、「極端な現象について、観測された変化と予測される変化の信頼度の見積もり」という表

の中に、「ほとんどすべての陸域で最高気温が上昇し、暑い日が増加する」という「現象の変化」の「21世紀に予測される変化の信頼度」は「可能性がかなり高い」という記載がある。

- ・AR4では、「極端な気象現象のうち20世紀後半の観測から変化傾向が見られたものの最近の傾向、その傾向に対する人間活動の影響評価、及び予測」という表の中に、「ほとんどの陸域で暑い日や夜の頻度の増加と昇温」という「現象及び傾向」の「SRESシナリオを用いた21世紀の予測に基づく傾向の継続の可能性」は「ほぼ確実」との記載がある。
- ・AR5では、「気象及び気候の極端現象」という表の中に、「ほとんどの陸域で暑い日や暑い夜の頻度の増加や昇温」という「現象及び傾向」の「21世紀末の将来変化の可能性」は「ほぼ確実」という記載がある。

それぞれの記載内容の違いは一見わかりにくいですが、TARでは「ほとんどすべての陸域」とあるのに対して、AR4とAR5では「ほとんどの陸域」とあり、「すべて」という表現がない。また、TARでは「暑い日が増加する」とあるのに対して、AR4とAR5では「暑い日や夜の頻度の増加と昇温」とあり、「夜」が加わるとともに、「増加」だけでなく「昇温」も含めた評価結果となっている。そのため、AR4とAR5を比較することに問題はないが、それらの結果とTARの結果を単純に比較することは難しい。さらに、AR4の場合、「ほぼ確実」なのは「傾向の継続の可能性」であるが、AR5では「21世紀末の将来変化の可能性」となっており、両者が完全に同一の意味をもつのかどうかの判断は難しい。このように、可能性等の表現自体は統一されているものの、その評価対象等についての書きぶりはSPMごとにかなり異なっており、統一表現をもとに評価結果の相互比較を行うことは、当初想定していたほど簡単ではないことがわかった。機械的な分類作業には限界があり、最終的な比較分析には解釈の入る余地が大きい。

②「可能性」に関する評価区分の比較からみたSPMの変化

以上を踏まえた上で改めて《図表18》をみると、全体的な傾向としては、「可能性」の評価ランクが評価とともに高くなっていく（可能性が高いランクになっていく）傾向が認められる。特に、「ほとんどの陸域で極端な高温／熱波の頻度が増加した可能性」、「海面水位が21世紀末まで上昇し続ける可能性」、「グリーンランドの氷床が減少を続ける可能性」などは、AR6において「ほぼ確実」（確率99%～）という評価になっている。このような傾向（全体的にみられる低ランクから高ランクへの変化）は、気候変動に関する研究の進展によって、科学的な不確実性が全体的に減少してきたことを示す証左の一つだと考えられる。

その一方で、「可能性」の評価が横ばいという知見・事象も多数あることがわかる。例えば、「干ばつが増加した可能性」、「大雨の頻度や強度が増加した可能性」については、「可能性が高い」（66%～）という評価がTARからAR6までの約20年間で変わっていない。干ばつの増加や大雨の頻度・強度の増加といったような過去の変化に対する評価が、将来の変化の予測と比べて低いということは、専門家以外の者にとっては意外に感じることに思われる。また、「ほとんどの陸域で寒い日や寒い夜が減少した可能性」、「グリーンランドの氷床が減少している可能性」、「海面水位の上昇が人間の影響による可能性」、「北極域の海氷の減少が人間の影響による可能性」なども、「可能性が非常に高い」（90%～）と

いう評価になっているとはいえ、複数回にわたり評価は横ばいのままとなっている。このような傾向（評価ランクが低中位のままで長い期間変化しないこと）は、気候変動というあまりに複雑な現象への自然科学的な理解が難しいことを示すデータのの一つだと考えられる。

また、表の中ほどにある「熱波の頻度の増加が人間の影響による可能性」や「干ばつの増加が人間の影響による可能性」については、これを周知の事実だと考えている人も多いように思われる。しかし、それらの評価はAR4での「どちらかと言えば高い」（50%～）からAR5での「可能性が高い」（66%～）にランクが上がってはいるものの、他の評価項目と比べて、可能性が高い部類の知見・事象とは言い難いことがわかる。

なお、AR6では、これら2つの評価項目に関係した記載はみられるものの³⁵、AR4・AR5とそのまま比較できるような評価は抽出されなかった。今後の評価では、評価結果の比較が継続的にできるよう評価対象の選定や評価結果の記載の仕方に配慮することが望まれる。

同様のことは、「干ばつが増加する可能性」や「21世紀に、熱帯低気圧の最大風速や降水強度が増加する可能性」といった評価項目についても指摘される。前者についてはTARからAR5まで、後者についてはTARからAR4まで、「可能性が高い」（66%～）という相対的に低位の評価が続いているが、その後の評価は比較可能な形で示されていないように見える。これらの評価項目は、一般の関心が高く、将来のリスクという点で社会への影響も大きい。このような評価項目については、評価の継続性への配慮が望まれる。

③「可能性」の表現が併記された推定値からみたSPMの変化

SPMには、定量的な推定値に統一表現による「可能性」が併記されている場合がある。それらのうち、SPM間での比較が可能と考えられるものを《図表19》に示す。

表に示した「平衡気候感度³⁶の大きさ」については、「可能性が高い」と考えられる値の範囲が、AR6において2.5°C～4.5°Cとされ、その幅（1.5°C）がAR4以降で最も小さくなった。このことは、気候変動に関する研究の進展を示すものとしてAR6の公表時に大きく取り上げられた。AR5からAR6にかけての科学的な不確実性低減の実例として象徴的なものだといえる。

一方、AR5とAR6では、「これまでの世界平均気温の変化への要因別の寄与の大きさ」が、温度という定量値を用いて記載されている。表では、SPMでの記載をもとに、寄与の大きさとして「可能性が高い」（66%～）とされている範囲を示した。一般論としては、不確実性が低減すれば、そのような推定値の範囲も狭くなっていき、不確実性が十分に小さくなれば、その範囲はある値に収束していく。表をみると、「温室効果ガスの寄与」の大きさは、AR5では「+0.5°C～+1.3°C」という範囲に入る可能性が高いとされたのに対して、AR6では「+1.0°C～+2.0°C」という範囲に入る可能性が高いとされている。そ

³⁵ 例えば、熱波については、ほとんどの陸域での熱波等の頻度増加の主要な要因が人為起源の気候変動にあることについて、確信度が高いとの評価はあるものの、可能性についての記載はない。熱波の頻度への人間影響の可能性については、海洋熱波についてだけ記載があり、陸域の熱波については可能性の記載はない。また、干ばつについても、人為起源の気候変動が一部の地域で干ばつの増加に寄与していることについて、確信度が中程度と記載されているが、可能性の評価は記載されていない。

³⁶ 国立研究開発法人国立環境研究所、東京大学、筑波大学 2018年9月18日報道発表資料「下層雲が繋ぐ温暖化時の気温と降水量の変化」によれば、「平衡気候感度は、温室効果ガスが増加した結果生じる地球温暖化の度合いを記述する最も基本的な量です。その定義は、大気中の二酸化炭素濃度が倍増した後で気候システムが再び平衡に戻ったときに地球全体の地表気温が何度上昇するか、ということです。」とある。

これらの範囲の幅は、AR5 での 0.8°C から AR6 では 1.0°C へと逆に広がっている。同様のことは、「自然起源の内部変動」についてもみられる。すなわち、推定値の幅がすんなりと収束していく状況にはなっていないことを示している。このことは、現在の気候モデルのもつ不確実性が、少なくとも大幅に低減されている状況にはないこと、気候モデルには未だに解決すべき課題が多く残されていることを表していると考えることができる。

同じく表中の「累積炭素排出量に対する過渡的気候応答 (TCRE) の大きさ」については、可能性の高い範囲が AR5 での 1.7°C (0.8~2.5°C) から AR6 での 1.3°C (1.0~2.3°C) へと狭まった。しかし、それでも、人為的な二酸化炭素を炭素換算で 1000GtC 排出した場合に予想される平均気温の上昇量が 1.0°C である可能性と、2.3°C である可能性は等しいということであり、それらの差はあまりに大きい。この値が、1.5°C 目標や 2°C 目標の達成に必要な今後の排出量の算定にも影響することを考えると、AR6 において科学的な不確実性が低減したという傾向だけでは、楽観的過ぎると考えられる。TCRE についても、科学的な不確実性の低減が大きな課題のまま推移している例の一つだといえる。

《図表 19》 IPCC・WG1 評価報告書 SPM から抽出した推定値で「可能性」の併記があるもの

平衡気候感度の大きさ	AR4	AR5	AR6
右の範囲内の可能性が非常に高い(90~100%)	—	—	+2°C~+5°C
右の範囲内の可能性が高い(66~100%)	+2°C~+4.5°C	+1.5°C~+4.5°C	+2.5°C~+4°C
右の範囲内の可能性は非常に低い(0~10%)	+1.5°C未滿	+6°Cを超える	—
右の範囲内の可能性は極めて低い(0~5%)	—	+1°C未滿	—
最良推定値	約+3°C	—	+3°C
これまでの世界平均気温の変化への要因別の寄与の大きさ	AR4	AR5	AR6
温室効果ガスの寄与(可能性が高い範囲)	—	+0.5°C~+1.3°C	+1.0°C~+2.0°C
他の人為起源の強制力(主にエーロゾル)(可能性が高い範囲)	—	-0.6°C~+0.1°C	-0.8°C~0.0°C
自然起源の強制力(可能性が高い範囲)	—	-0.1°C~+0.1°C	-0.1°C~+0.1°C
自然起源の内部変動(可能性が高い範囲)	—	-0.1°C~+0.1°C	-0.2°C~+0.2°C
累積炭素排出量に対する過渡的気候応答(TCRE)の大きさ	AR4	AR5	AR6
1000GtC当たり右の範囲内の可能性が高い(66~100%)	—	+0.8~+2.5°C	+1.0~+2.3°C
最良推定値	—	—	+1.65°C

(出典) IPCC 第3~6次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

(3) 「確信度」に関する統一表現の場合

① SPM 間で比較が可能な「確信度」に関する評価結果の抽出

「確信度」に関する統一表現を含む文章の中から、評価結果(ここでは確信度の区分)を複数の SPM で比較できるものを抽出した。抽出結果を《図表 20》に示す。前述のとおり、表の作成には筆者の解釈が含まれていることに注意が必要である。

表には、全部で 16 の知見・事象についての評価結果の推移を、32 箇所での統一表現を用いて整理した。「確信度」に関する統一表現の抽出数が 269 箇所であったことから考えると、「確信度」に関する評価結果を SPM 間で比較できるものは非常に少なく、「可能性」に関する場合に比べても少ない。その要因としては、「確信度」に関する統一的な表現が実質的に AR5 から本格導入されたこともあり、評価項目の充実が優先され、評価の継続性が必ずしも確保できていなかった可能性がある。専門外の者にとって、「確信度」の評価結果は、「可能性」の評価結果以上に、直感的に理解しやすい場合もあると考えられる

ため、今後の評価では評価項目の継続性への一層の配慮が望まれる。

②「確信度」の評価区分からみた SPM の変化

《図表 20》をみると、「陸域全体の降水量は 1950 年以降増加している」、「人間の影響が地球を温暖化させてきた」、「熱帯低気圧の活動度の増加に人間活動が寄与した」、「1998～2012 年のハイエイタスは自然起源の要因で起きた」という 4 つの知見・事象では、「確信度」の評価ランクが直前の結果と比べて高くなっている（確信度が高まっている）。また、2 つの知見・事象では、「疑う余地なし」、「非常に高い」という高い評価ランクが続いている。しかし、それらを除く 10 の知見・事象では評価結果に変化がみられず、特に 6 つの知見・事象では「確信度が中程度」または「確信度が低い」という低い評価ランクのままとなっている。このような全体的な傾向は、(2) の「可能性」の場合にみられた、全体として評価区分が低位から高位に移行していく傾向とはやや異なっている。

また、「今後 21 世紀の変化」といった将来の変化に関する評価項目は、「20 世紀以降の変化」や「変化への人間影響の寄与」といった過去の変化に関する評価項目と比べて、総じて低位な評価ランク（「確信度が中程度」または「確信度が低い」）となっている。

「確信度」に関する評価では、研究論文等の証拠の質・量やそれらの結果（見解）の一致度が評価区分の判断の基礎となるが、気候変動問題への注目が高まる中、気候変動に関する自然科学的な研究は数多く蓄積されてきている。そのことから考えると、上記のような「確信度」に関する評価が全体的に低

《図表 20》IPCC・WG1 評価報告書 SPM から抽出した「確信度」に関する評価結果

確信度の評価対象		AR4	AR5	AR6	
20 世紀以降の変化	気候システムが温暖化している	疑う余地なし	疑う余地なし		*1
	工業化以降のCO2等の増加は過去数～数十万年に前例がない		非常に高い	非常に高い	
	20世紀以降の海面水位上昇率は過去数千年に比べ大きい		高い	高い	*2
	海面水位上昇率は19世紀から20世紀にかけて増加した	高い	高い		
観測された海面水位上昇の主要因は氷河の減少と海洋の熱膨張			高い	高い	
	陸域全体の降水量は1950年以降増加している		低い	中程度	*3
	北極海の夏季の海水は過去千年間で前例がないほど減少した		中程度	中程度	
変化への人間影響の寄与	人間の影響が地球を温暖化させてきた	非常に高い		疑う余地なし	
	熱帯低気圧の活動度の増加に人間活動が寄与した		低い	高い	*4
	1998～2012年のハイエイタスは自然起源の要因で起きた		中程度	高い	*5
今後21世紀の変化	ほとんどの陸域で高温が増加する		中程度	中程度	
	いくつかの地域では農業干ばつが増加する		中程度	中程度	*6
	南極の海水が減少する		低い	低い	
	永久凍土が減少する		中程度	中程度	
その他	永久凍土の融解や森林火災などがCO2濃度の増加を促進する		高い	高い	
	気候モデルでの雲やエアロゾルの過程表現や定量化	(低い)	低い		*7

*1 「疑う余地がない」は IPCC の確信度の統一表現に含まれていないが、ここでは確信度の一種として整理した

*2 AR5 は過去 2 千年間に比較した場合、AR6 は過去 3 千年間に比較した場合となっている

*3 AR5 においても、陸域のうち北半球中緯度については降水量増加の確信度が高いとしている

*4 AR6 はイベント・アトリビューション等の結果による熱帯低気圧に伴う大雨の増加についての評価である

*5 AR6 では自然起源の要因を AR5 に比べて具体的に記載した上で高い確信度と評価している

*6 ここでは AR5 と AR6 の評価結果を同じ中程度としたが、評価結果の解釈によっては適切ではない可能性がある

*7 AR4 の評価結果については、AR5 の SPM の中に、AR5 でも AR4 と変わらず確信度が低い旨の記載がある

(出典) IPCC 第 3～6 次評価報告書 WG1・SPM・気象庁訳をもとに当研究所作成

位のままで変化がみられないことの要因は、AR5 から AR6 にかけて、研究の結果（見解）の一致度という部分に大きな変化がみられなかったことにあると考えることができるかもしれない。

また、「確信度」に関する評価では、将来の変化に関する評価が総じて低位になっている。このことは、将来の変化に関する研究が過去の変化に関する研究と比べて、証拠の質・量や見解の一致度という点で相対的に課題が大きいことを示唆するものと考えられる。

4. 小括

SPM の時流変化を明らかにする目的で、IPCC 評価報告書の特徴の一つである「可能性」や「確信度」に関する統一表現に着目して分析を行った。具体的には、各 SPM から「可能性」や「確信度」に関する統一表現を含む文章を抽出し、SPM での箇所数や評価ランクの量的な変化を集計して分析を行うとともに、統一表現をもとに評価結果の相互比較を行った。その際、統一表現を含む文章をテキスト分析によって内容面から分類・整理することを試みたが、評価結果の文章の多様さや複雑さのため、機械的な分類・整理には限界があり、分析には解釈の入る余地が大きいことがわかった。

分析の結果、「可能性」に関する統一表現については、複数の SPM 間で評価結果を比較できる知見・事象を 34 項目抽出した。全体として「可能性」の評価ランクが評価とともに高くなっていく傾向が認められ、気候変動に関する研究の進展によって、科学的な不確実性が全体的に減少してきたことを示す結果が得られた。一方で、「可能性」の評価が低中位のままで横ばいという知見・事象も多数あり、気候変動という複雑な現象への自然科学的な理解が難しいことを示す結果も得られた。また、「熱波の頻度の増加が人間の影響による可能性」、「干ばつの増加が人間の影響による可能性」など、一部では周知の事実であるかのように扱われる項目の中には、他の評価項目に比べて可能性が高い部類の知見・事象とはいえないものがあることや、社会からの関心が高く影響も大きい評価項目については、各 SPM での評価結果が比較できるよう同じ評価項目を継続して取り上げるなど、評価の継続性への配慮が望まれることなどを指摘した。

次に、定量的な推定値に「可能性」が併記されている場合について分析を行った。その結果、AR5 から AR6 にかけて科学的な不確実性が低減したことを示す例（平衡気候感度の大きさ）がある一方で、科学的な不確実性の低減という点で課題が大きいことを示す例（これまでの世界平均気温の変化への要因別の寄与の大きさ、累積炭素排出量に対する過渡的気候応答（TCRE）の大きさ）もあることを示した。

続いて、「確信度」に関する統一表現の分析を行い、複数の SPM 間で評価結果を比較できる知見・事象を 16 項目抽出した。統一表現の抽出箇所数が 269 箇所であったことから考えると、「確信度」に関する統一表現には、評価結果を SPM 間で比較できるものが非常に少ないといえる。専門外の者にとって、「確信度」の評価結果が「可能性」の評価以上に直感的に理解しやすい場合もあることを踏まえると、今後は評価項目の継続性への配慮が望ましい。また、抽出した知見・事象の多く（10 項目）では評価ランクの変化がみられず、その半分（6 項目）では評価ランクが低位なままとなっていることなど、全体的な傾向が「可能性」の場合と異なると考えられた。「確信度」に関する評価では、研究論文等の証拠の質・量やそれらの結果（見解）の一致度が評価区分の判断の基礎となることから、AR5 から AR6 にかけて、研究の結果（見解）の一致度という部分に大きな変化がみられなかった可能性も示唆された。

VI. まとめ

1. 本稿のねらい

量的テキスト分析という定量的な方法を用いて、IPCC 評価報告書 SPM の視覚的な表現や数量変化を分析し、内容の時流変化とその背景を考察するとともに、そのような分析方法の有効性を検証した。

2. SPM の内容変化について

「頻出語」に着目した分析では、これまでの排出シナリオの変化、放射強制力やエアロゾルへの科学的評価の変化、直近十年ほどの気候変動政策のトレンド、AR5 以降で証拠への言及が重視されるようになったとみられることなどを示した。

また、「専門用語」に着目した分析では、放射強制力やエアロゾルといった SPM 全体を通じての頻出語と、硫酸塩や二酸化硫黄といった一部の SPM のみに登場する用語が当時の科学的不確実性の変化と密接な関係にあることなどを示した。

「可能性」や「確信度」に関する統一表現に着目した分析では、可能性の評価ランクの変化から、科学的な不確実性が全体的に減少してきたことが示唆される一方で、評価が低中位のままで横ばいの知見・事象も多数あることを、評価結果の比較から示した。確信度の評価に関しては、全体的に評価ランクが低位のままのものが多く、全体的な変化の傾向が可能性の場合と異なること、その要因として、AR5 以降、研究の結果（見解）の一致度に大きな進展がみられなかった可能性があることなどを示した。

そのほか、今回の分析を通じて、評価対象となる知見・事象や評価結果の記載の仕方がそれぞれの SPM で大きく異なっており、特に確信度に関する評価において、それらの継続性が確保されていない傾向が認められた。社会からの関心が高く影響も大きい評価項目については、各 SPM の評価結果が比較できるよう、同じ評価項目を継続して取り上げるなど評価の継続性への更なる配慮が望まれる。

3. 分析方法の有効性について

頻出語の頻度変動を加味して作成したワードクラウドや特定の頻出語の共起語で作成した共起ネットワークは、報告書の大まかな内容の変化を把握する上で有効なことがわかった。また、それらは、環境教育の教材などに活用できる可能性もあり、専門家にとっても、単語同士の関係性の見える化によって新たな気づきが生れる可能性もあると考えられた。

専門用語の頻度解析とコサイン類似度を利用した分析についても、科学的な研究の進展を垣間見ることができる方法として有効性が確認できた。

一方、可能性等の統一表現をもとに評価結果の相互比較を行うために、統一表現を含む文章をテキスト分析によって内容面から分類・整理することを試みたが、効率化・省力化の点で効果があったものの、評価結果の文章の多様さや複雑さのため、今回用いた方法では分類・整理に限界があることもわかった。

以上から、IPCC 評価報告書のような比較的体裁が統一された文書の場合、量的テキスト分析の方法を利用してその変化を追うことは、今後の改良の余地や一定の限界はあるものの、総じて有効な方法であると考えられる。

4. さいごに

本稿では、気候変動に関する自然科学的な不確実性が全体として低減傾向にあることを裏付ける結果が得られた一方で、部分的には停滞を示唆する結果も得られた。そのほか、評価対象の選定における継続性の問題など、幾つかの課題も明らかになった。今回のような分析は、気候変動の自然科学的な不確実性や政策の現在地を知るための新たな手掛かりを提供できると考えられる。本稿では、IPCC 評価報告書のうち、WG1（自然科学的根拠）の作業部会報告書について分析を行ったが、他の作業部会報告書の分析や作業部会間の比較などについても今後検討していきたい。

また、今回試みた分析方法は、IPCC 評価報告書以外の文書に対しても有効な場合があるかもしれない。それらの活用場面として、今回のような調査研究目的だけでなく、教育や研修等の目的での活用も想定される。特に、ワードクラウドや共起ネットワークによる内容の視覚的な表現は、SPM やレポート類をそのまま読むことに比べれば、アクセスのハードルが低い。視覚的な表現は、一見単純そうに見えるものの、気候変動に関連した様々な単語・専門用語の変化や関係性が視覚的に表現され、その意味や背景を探るには幅広い知見が必要となるため、教材等への活用も有効だと考えられる。

現在、気候変動問題への対応は、非財務情報開示の取組みの拡がりとともに多くの企業で急務となっている。企業がこのような動きを自らのリスク対応とビジネス機会の獲得につなげていくためには、気候変動の本質ともいえる科学的な不確実性への理解を一定程度深めておくことが望ましい。また、カーボンニュートラルの実現には暮らしや生活全般での変革と長期にわたる取組みが求められ、気候変動に関する教育や広報の担う役割は大きい。ところが、報道等から得られる情報は、これまでに生み出されてきた科学的知見の中でも話題性やインパクトが大きいものに限られ、専門家以外の者にとって、その科学的裏付けに触れる機会も少ない。

本稿が、気候変動政策の科学的裏付けの変化、特にその方向と大きさを知り得る情報として利用され、企業をはじめとした幅広いステークホルダーにとって、気候変動対応の先見性・合理性を高める取組みの一助になれば幸いである。