

IPCC の台風激甚化という誤情報

これほどまでに深刻な品質管理の失敗は、到底許されるものではない。

ロジャー・ピールケ・ジュニア

The Honest Broker

2023.3.16

監訳 キヤノングローバル戦略研究所 研究主幹 杉山大志

訳 木村史子

本稿はロジャー・ピールキー・ジュニア

<https://rogerpielkejr.substack.com/p/misinformation-in-the-ipcc>

を許可を得て邦訳したものである。

先週、私は気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次評価報告書（AR6）の統合報告書（SYR）を概観して、この重要な組織に改革の時期が来ていると考えていることを述べた。

IPCC は重要だ。気候変動は深刻な問題であり、緩和政策や適応政策のためには正確な科学に基づく必要があるからだ。

これから2回に分けて、IPCC が熱帯低気圧に関するいくつかの誤解を招くような発表をしたことを説明したいと思う。IPCC の失敗は明白であり、否定できない。その詳細について説明する。繰り返すが、私は IPCC に改革が必要だという結論に達した。このような大規模な評価報告書であれば間違いが生じることは確かにあるだろうが、以下に記すような失敗は絶対に許されないのだ。

1つ目の失敗は、AR6 (WG1) の報告書の第 11 章の中に埋もれていたもので、それほど目立つものではなかった。だが2つ目の失敗は、少しテクニカルなものであるが、WG1 報告書と先週発表された統合報告書の両方の政策決定者向け要約 (SPM) に記載されているもので、重要な影響があった。

話を進める前に、IPCC は単なる 1 つの報告書でもなければ、ひとりのグループでもないことを再確認しておこう。IPCC はさまざまな分野の、多くの人々によって構成されている。その成果物は不均質であり、同じ報告書の中の個々の章の中でさえも、科学的な質は大きく異なることがある。例えば、一般的に IPCC AR6 WG1 は[異常気象の物理科学的側面](#)について優れた成果を出していたが、IPCC AR6 WG2 には[大量の問題が山積み](#)であったりする。

私は IPCC を支持し、全体的に質の高いものであってほしいと願っている。私たち皆には、IPCC 自体が高い水準に達していないときには、それを声高に訴える責任があるのだ。なぜなら気候変動は、質の悪い科学が世界有数の科学評価報告書に登場することなど許されないほど、重要な問題だからである。

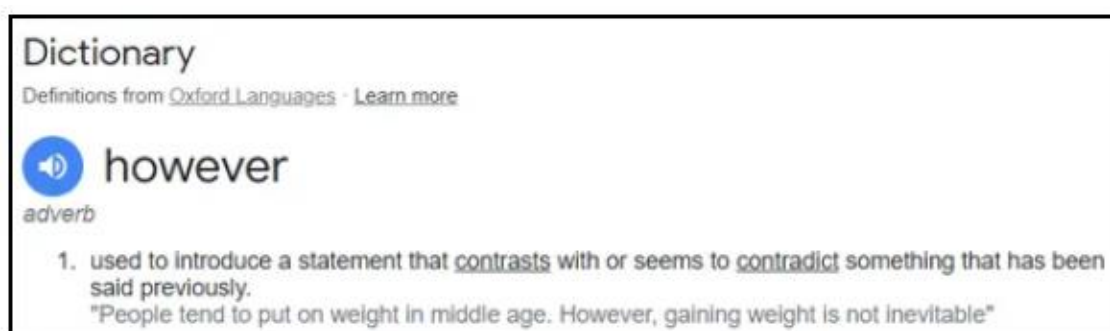
コーヒーを片手に席に着いて、さあ、始めよう。

IPCC による文献のつまみ食い

IPCC は科学文献をレビューすることになっている。そこでは、著者が物語を構築するために、使用したい研究の一部分だけを含めることは許されない。また IPCC は、著者が不都合だと思う人の研究を無視してはいけない。しかし、米国のハリケーンに関しては、IPCC AR6 WG1 は、明らかに、文献のつまみ食い、都合の良いところ取り (チェリーピッキング) をした。

以下は、IPCC AR6 [第 11 章](#)において、米国のハリケーンについて述べたものである：

「1900 年以降に米国に直接影響を与えたハリケーンに対応するベストトラックデータのサブセットは信頼性が高いと考えられ、米国に上陸する事象の頻度に傾向は見られない (Knutson et al., 2019)。しかしながら(*however*)、曝露された資産の時間的変化を考慮した標準化された米国ハリケーン被害が増加傾向 (Grinsted et al., 2019) にあること、そして米国陸上の台風の移動速度が減少している傾向 (Kossin, 2019) が、この期間に確認されている。」



気を付けて読んでみて欲しい。「しかしながら (*however*) 」という言葉は、正規化された米国のハリケーン被害の記録が、ゴールドスタンダードである「ベストトラックデータ」と矛盾するために使われることを示唆している。しかしそれでは、まさに話が逆だ。経済損失データを使って気候の傾向を推測することはできないし、ましてや実際の気候データの妥当性を評価するために使うことはできない。IPCC はそれをよく心得ているはずだ。

しかし、もっと酷いことがある。

上述した文献、[Grinsted et al. 2019](#) (注：この投稿におけるすべての参考文献は下部にまとめてある) が、正規化された米国のハリケーン被害において「増加傾向」が見られたという主張を支持する唯一の情報源として引用されている。本稿の読者の多くは、私が NOAA のクリス・ランドシーとともに、25 年以上前に最初に概念と方法論を開発し[ハリケーン被害の正規化](#)したことをご存知であろう。私はこの分野の文献を誰よりもよく知っている立場なのだ。

なので、Grinsted et al.2019 がこれまでの文献の中で、むしろ異例の存在であることを十分わかっているわけだ。Grinsted et al.2019 は、正規化された損害の傾向は、ハリケーンの上陸頻度や強度の傾向と合致しているという、この問題に関する圧倒的な科学的コンセンサスに反する主張をしているのである。

もちろん、経済状況の正規化と気候の動向は、正規化手法の信ぴょう性を示すのによく適用されるテストの結果として、合致するはずである。仮にその傾向が一致しないのであれば、それは正規化手法に偏りがあることを明確に示している。

ここでの明白な結論は、Grinsted et al. 2019 の傾向と米国上陸の「ベストトラックハリケーン」データ（探し出せる最も信頼性の高い気候記録の一つ）の傾向との間の矛盾は、Grinsted et al. 2019 自体の問題を示しているということである。それどころか、IPCC はこの矛盾をもとに、広く使われている「ベストトラックデータ」に何らかの誤りがあるかのように示唆している。つまり、IPCC は、有力でコンセンサスのある公式の気候データを貶めているのだ。驚くべきことだ。

IPCC が引用していない他の 8 つの論文は、査読付き文献で、約 20 人の著者が様々な異なる方法を用いて、正規化された米国のハリケーンによる損害に「増加傾向」がなかったと結論付けている。そのうちの 1 つは、1900 年以降、正規化された米国のハリケーン被害が急激に減少していることを発見したとしている（ただし、これもハリケーンの観察された傾向に反しているので、偏りがある）。以下がその 8 つの研究論文である。

- Martinez 2020
- Weinkle et al. 2018
- Klotzbach et al. 2018
- Bouwer and Wouter Bozen 2011
- Schmidt et al. 2009
- Pielke et al. 2008

- ・ Collins and Lowe 2001
- ・ Pielke and Landsea 1998.

これら 8 本の論文は、合わせて 2,600 回以上引用されている。ところが、出版されてから 65 回というわずかな引用数しかない Grinsted et al.2019 の他には、IPCC に引用されたものは一つもなかった。

IPCC による文献のつまみ食いがこれほど明白な例はない。それとも、IPCC が評価を任されたのに文献を知らなかったとでもいうのだろうか。執筆者は賢く知識も豊富なので、自在につまみ食いをしてよい、ということか？ そんなことは許されない。

気候の伝言ゲーム

熱帯低気圧に関する 2 つ目の例は、IPCC が評価を任された文献をいかに正確に表現できなかったかを示すものである。この例は少し複雑だが（略語も多く、申し訳ない）詳細を見れば、失敗の酷さは一目瞭然だ。

先週発表された IPCC AR6 の [統合報告書 \(SYR\)](#) には、こんな記述がある：

「熱波、豪雨、干ばつ、熱帯低気圧などの極端な気象における観測された変化、そして特にその人間活動の影響への帰属に関する証拠は、AR5 以降増加している。」

私の注意を引いたのは、[\(変化の\) 検出と \(温室効果ガスへの\) 帰属](#)が確認された現象のリストに熱帯低気圧が含まれていることであった。しかし、この記述は間違っている。IPCC AR6 WG1 Ch.11 には、正しくはこう記載されている：

「熱帯低気圧(熱帯低気圧)の頻度や強度の指標については、ほとんどの長期(数十年～百年)の報告について、その傾向の信頼性は低い。」

また、Ch.11 では傾向に関する帰属を明言してはいないが、これは傾向自体の信頼度が低いと判断されたことを考えれば納得できる。では、熱帯低気圧の傾向の検出と帰属を強く示すような主張が、なぜ AR6 SYR の SPM に入ったのだろうか。間違った主張の真相に迫ってみるとしよう。

同じパラグラフで、SYR SPM の中ではこう述べられている：

「主要な（カテゴリ3～5 の）熱帯低気圧の発生割合は、過去 40 年間で世界的に見て増加したと考えられる。」

そのパラグラフでは、[IPCC AR6 WG1 の SPM](#) だけでなく、陸地と海に関する IPCC 特別報告書（それぞれ [SRCCL](#) と [SROCC](#)）の SPM も参照している。IPCC の陸地に関する特別報告書では熱帯低気圧に触れていないが、SROCC の方では触れている。

以下は、SROCC の SPM の内容である（私たちの[研究](#)に一部依拠した [2014 年の論文](#)を引用している）：

「ここ数十年、世界的にカテゴリ4 または 5 の熱帯低気圧の割合が増加していることを示す新たな証拠がある（信頼度は低い）。（6.2、表 6.2、6.3、6.8、コラム 6.1）。」

そして [SROCC 第 6 章](#)では、低い信頼性の判断の根拠を次のように説明している：

「ほとんどの熱帯低気圧の指標において、確信の持てる気候変動のトレンドの検出ができなため、将来予測や過去の変動、熱帯低気圧事象の帰属の両方において、確信が持てない状態が続いている。というのも、ほとんどの公開されている研究においては、熱帯低気圧事象の帰属は、一般的に、熱帯低気圧活動の長期的傾向についての確信できる気候変動の検出による裏付けなしに推測されているからである。」

SROCC については、また後ほどご紹介するが、まずは次に述べたいのは [IPCC WG1SPM](#) には、先週発表された SYR の文言と同様の文言が以下に示すようにある：

「"主要な（カテゴリー3～5）の熱帯低気圧の発生の割合が、過去40年間で世界的に見て増加したと思われる..."

また、WG1のSPMには、SROCCにも記載されている低信頼度に関する判定も含まれている：

「"全カテゴリーの熱帯低気圧の発生頻度の長期（数十年～百年）傾向については、信頼度が低い。」

このWG1のSPMが参照されているAR6 WG1第11章を掘り下げてみよう。第11章の要旨にも同様の文言と脚注がある：

「カテゴリー3～5の熱帯低気圧の観測件数[FN2]の世界的な割合は、過去40年間で増加していると思われる。」

そして脚注[FN2]にはこう書かれている：

「各熱帯低気圧の活動期間中観測される、6時間ごとの強度推計値。」

この脚注は実はとても重要なのだが、WG1報告書の第11章とAR6 SRのSPMの間どこかに紛れ込んでしまったのである。何が起こったのかを理解するために、様々な文書にある3つの記述を比較してみたいと思う。そして、重要な表現上の変化を太字で強調した：

・ IPCC AR6 SR SPM： 主要な（カテゴリー3～5）熱帯低気圧の**発生（occasion）**の世界的な割合は、過去40年間で増加したと思われる

・ IPCC AR6 WG1 SPM:主要な（カテゴリー3～5）熱帯低気圧の**発生（occasion）**の世界的な割合は、過去40年間で増加したと思われる..."

・ IPCC AR6 WG1 Ch.11： カテゴリー3～5の熱帯低気圧の**観測事例（instance）**の世界的な割合は、過去40年間に増加したと思われる。脚注 FN2：各熱帯低気圧の活動期間において観測される6時間ごとの強度推計値

instance から **occasion** に変わること、主張の意味が全く変わってしまうのだ。何が起きているのか、さらに深く掘り下げてみよう。

WG1 第 11 章本文の中で詳しく、こう書かれている（太字強調は追加した）：

「... 世界におけるカテゴリ-3~5 熱帯低気圧**観測事例**（各熱帯低気圧の活動期間中に観測される 6 時間ごとの強度推計値）のカテゴリ-1~5 についての事例の全体に対する割合が、大幅に増加することがわかった（Kossin et al., 2020。）

そもそも熱帯低気圧の " 観測事例 (instance) "とは一体何なのか？

ここで引用されている出典は [Kossin et al. 2020](#) で、この論文は私もよく知っている（この論文に関する私の Twitter のスレッドは[こちら\(リンク参照\)](#)と[こちら\(リンク参照\)](#)で見ることができる）。ここで使われている「instance」とは、ハリケーンの観測のこと、ハリケーンそのものではない。Kossin et al. 2020 はハリケーンの観測を分析したのであって、ハリケーンの発生を分析したのではないのだ。彼らはそのデータセットについてこう説明している：

「今回考察した 1979 年~2017 年の期間において、世界全体では約 4,000 個の個別熱帯低気圧における ADT-HURSAT の強度推計値は約 225,000 件ある。」

このことから、IPCC が"instances"と"occurrences"を混同していることがわかる。その結果、IPCC はいくつかの重大な問題を引き起こしているのだ。

最初の問題点：Kossin et al. 2020 では、熱帯低気圧の割合に着目していない、しかし、少なくともハリケーン級の強さの熱帯低気圧の観測（熱帯低気圧研究者の間では「fixes」と呼ばれ、Kossin et al.ら 2020 年では「exceedances」と呼ばれるもの）のうち、主要ハリケーン（カテゴリ-3+）の観測の割合には着目している。

この IPCC の伝言ゲームでは、観測され報告されていたという「観測事例」の件数が、以下のように伝えられてゆく：

- ・ fixes : 熱帯低気圧研究者の間の専門用語
- ・ exceedances : Kossin et al. 2020 の論文だけで使われている特殊な用語
- ・ Instances : IPCC AR6 WG1 Ch.11 で報告されている用語
- ・ そしてこれが最後に、IPCC AR6 WG1 SPM と IPCCAR6 SR SPM で、熱帯低気圧の「発生」の件数となってしまった。

IPCC は、いつの間にか、「発生」の変化の検出とその帰属に強い自信を持つようになったが、この2つは、主張を裏付けるために引用された論文の内容から完全にかき離れたものなのだ。

Kossin ら 2020 は、「fixes」の分析において、検出や帰属が確認できたという主張は一切しておらず、次のように述べている：

「結局のところ、熱帯低気圧の強度については、その特徴や観測された変化に寄与する要因は多数あり、本研究では、これらの要因を切り分けることは試みていない。特に、この実証研究で確認された有意な傾向は、伝統的な方法による正式な“検出”を構成するものではないし、人為的な要因による影響を正確に定量化するものでもない。」

Kossin et al. 2020 が最初に発表されたとき、私は Twitter でその誤った解釈の広がりを以下のように指摘した。



The Honest Broker by Roger Pielke Jr.

@RogerPielkeJr

OK, another short, but data-rich thread on the new Kossin et al. PNAS paper on tropical cyclones, which has been widely misreported, misunderstood and which misrepresents its own findings ... (benefiting from collaboration with [@RyanMaue](#))

[ツイートを表示](#)

PLAY THE CROSSWORD

Climate Change Is Making Hurricanes Stronger, Researchers Find

An analysis of satellite imagery from the past four decades suggests that global warming has increased the chances of storms reaching Category 3 or higher.



Hurricane Florence, seen from the International Space Station, in the Atlantic in September 2018. NASA, via Reuters

By Henry Fountain

May 18, 2020

Hurricanes have become stronger worldwide during the past four

午前5:29 · 2020年5月21日

2つ目の問題、そしてこれも大きな問題である。Kossin et al. 2020 は、2020年5月に発表された。だがそれから半年も経たないうちに、[大幅修正](#)されていたのだ。

どのような大幅修正だったのか。元の論文では、熱帯低気圧が発生する世界のすべての領域（正式には7領域だが、Kossin et al.2020では領域に集約している）で統計的に有意とされた傾向が、修正後は北大西洋と南インドのわずか2領域で有意となり、ハリケーン活動全体の20%未満を占めるにすぎないという結果になっていたのだ。IPCCが報告した「世界的な傾向」とはこれだけでもうかけ離れている。

以下の2つの画像で、異なる領域の調査結果の統計的有意性を示す線を黄色でハイライトし、修正した結果をわかるようにした：グローバル、NA=北大西洋、EP=東太平洋、WP=西太平洋、NI=北インド、SI=南インド、SP=南太平洋。その差を見て欲しい。

Original Results of Kossin et al. 2020

Table 1. Differences in major hurricane intensity exceedance probability (P_{maj}) between the early and later halves of the period of analysis

	ADT-HURSAT							
	Global	NA	EP	WP	NI	SI	SP	Best-track global
Early (1979–1997)	$P_{maj} = 0.27$ CI=[0.25,0.28] $N_{tot} = 8,848$ $N_{maj} = 2,362$	$P_{maj} = 0.18$ CI=[0.13,0.22] $N_{tot} = 777$ $N_{maj} = 136$	$P_{maj} = 0.25$ CI=[0.22,0.28] $N_{tot} = 2,411$ $N_{maj} = 606$	$P_{maj} = 0.35$ CI=[0.31,0.37] $N_{tot} = 3,071$ $N_{maj} = 1,060$	$P_{maj} = 0.16$ CI=[0.08,0.25] $N_{tot} = 227$ $N_{maj} = 37$	$P_{maj} = 0.21$ CI=[0.17,0.25] $N_{tot} = 1,299$ $N_{maj} = 271$	$P_{maj} = 0.24$ CI=[0.19,0.28] $N_{tot} = 1,063$ $N_{maj} = 252$	$P_{maj} = 0.21$ CI=[0.20,0.23] $N_{tot} = 11,959$ $N_{maj} = 2,570$
Late (1998–2017)	$P_{maj} = 0.31$ CI=[0.29,0.32] $N_{tot} = 9,275$ $N_{maj} = 2,842$	$P_{maj} = 0.34$ CI=[0.30,0.38] $N_{tot} = 1,572$ $N_{maj} = 529$	$P_{maj} = 0.27$ CI=[0.24,0.30] $N_{tot} = 2,089$ $N_{maj} = 565$	$P_{maj} = 0.34$ CI=[0.32,0.37] $N_{tot} = 3,236$ $N_{maj} = 1,105$	$P_{maj} = 0.16$ CI=[0.08,0.24] $N_{tot} = 237$ $N_{maj} = 37$	$P_{maj} = 0.28$ CI=[0.24,0.32] $N_{tot} = 1,331$ $N_{maj} = 374$	$P_{maj} = 0.29$ CI=[0.23,0.34] $N_{tot} = 807$ $N_{maj} = 232$	$P_{maj} = 0.28$ CI=[0.27,0.30] $N_{tot} = 14,463$ $N_{maj} = 4,117$
Change	8% decade ⁻¹	49% decade ⁻¹	4% decade ⁻¹	-1% decade ⁻¹	0% decade ⁻¹	18% decade ⁻¹	8% decade ⁻¹	17% decade ⁻¹
Sig. lev.	>95%	>99%	<90%	<90%	<90%	>90%	<90%	>99%
Triad time series	6% decade ⁻¹ $P = 0.02$	42% decade ⁻¹ $P = 0.02$	7% decade ⁻¹ $P = 0.25$	2% decade ⁻¹ $P = 0.58$	-15% decade ⁻¹ $P = 0.71$	31% decade ⁻¹ $P = 0.004$	8% decade ⁻¹ $P = 0.13$	

CI is the pointwise 95% CI on P_{maj} . The significance level (Sig. lev.) of the difference is also shown. N_{tot} and N_{maj} are the total number of hurricane and major hurricane estimates, respectively, in each period. The bottom row shows the Theil–Sen trend amplitudes and Mann–Kendall significance levels (P values) for the triad time series shown in Figs. 2 and 3.

Corrected Results of Kossin et al. 2020

Table 1. Differences in major hurricane intensity exceedance probability (P_{maj}) between the early and later halves of the period of analysis

ADT-HURSAT									
	Global	NA	EP	WP	NI	SI	SP	Best-track global	
Early (1979–1997)	$P_{maj} = 0.3399$ CI=[0.3243,0.3555]	$P_{maj} = 0.2306$ CI=[0.1829,0.2783]	$P_{maj} = 0.3145$ CI=[0.2851,0.3438]	$P_{maj} = 0.4341$ CI=[0.4067,0.4615]	$P_{maj} = 0.1841$ CI=[0.1039,0.2643]	$P_{maj} = 0.2750$ CI=[0.2362,0.3138]	$P_{maj} = 0.3068$ CI=[0.2627,0.3509]	$P_{maj} = 0.2895$ CI=[0.2767,0.3023]	
	$N_{tot} = 9420$ $N_{maj} = 3202$	$N_{tot} = 798$ $N_{maj} = 184$	$N_{tot} = 2560$ $N_{maj} = 805$	$N_{tot} = 3345$ $N_{maj} = 1452$	$N_{tot} = 239$ $N_{maj} = 44$	$N_{tot} = 1360$ $N_{maj} = 374$	$N_{tot} = 1118$ $N_{maj} = 343$	$N_{tot} = 12855$ $N_{maj} = 3722$	
Late (1998–2017)	$P_{maj} = 0.3725$ CI=[0.3559,0.3891]	$P_{maj} = 0.3965$ CI=[0.3568,0.4363]	$P_{maj} = 0.3309$ CI=[0.2967,0.3651]	$P_{maj} = 0.4129$ CI=[0.3839,0.4419]	$P_{maj} = 0.1911$ CI=[0.1072,0.2750]	$P_{maj} = 0.3543$ CI=[0.3114,0.3973]	$P_{maj} = 0.3577$ CI=[0.3018,0.4137]	$P_{maj} = 0.3461$ CI=[0.3330,0.3591]	
	$N_{tot} = 9275$ $N_{maj} = 2842$	$N_{tot} = 1551$ $N_{maj} = 615$	$N_{tot} = 1940$ $N_{maj} = 642$	$N_{tot} = 2962$ $N_{maj} = 1223$	$N_{tot} = 225$ $N_{maj} = 43$	$N_{tot} = 1270$ $N_{maj} = 450$	$N_{tot} = 752$ $N_{maj} = 269$	$N_{tot} = 13567$ $N_{maj} = 4695$	
Change	+5% decade ⁻¹	+38% decade ⁻¹	+3% decade ⁻¹	-3% decade ⁻¹	+2% decade ⁻¹	+15% decade ⁻¹	+9% decade ⁻¹	+10% decade ⁻¹	
Sig.lev.	95%	99%	n/s	n/s	n/s	90%	n/s	99%	
Triad time series	+6% decade ⁺	+42% decade ⁺	+7% decade ⁺	+2% decade ⁺	-15% decade ⁺	+31% decade ⁺	+8% decade ⁺		
	$P = 0.02$	$P = 0.02$	$P = 0.25$	$P = 0.58$	$P = 0.71$	$P = 0.004$	$P = 0.13$		

CI is the pointwise 95% confidence interval on P_{maj} . The significance level (Sig. lev.) of the difference is also shown (n/s = not significant at the 90% level or higher). N_{tot} and N_{maj} are the total number of hurricane and major hurricane estimates, respectively, in each period. The bottom row shows the Theil–Sen trend amplitudes and Mann–Kendall significance levels (P values) for the triad time series shown in Figs. 2 and 3 of the manuscript.

修正後の Kossin et al. 2020 は、"fixes"に関して当初主張していた内容すらもはや支持していない。IPCC はこの訂正に気づかず、Kossin et al. 2020 の誤った解釈を、AR6 評価サイクル全体の最も重要な科学的結果の一つとして宣伝し続け、誤った解釈の上に、更に文献の修正への対応の失敗をも重ねてしまったようだ。

Kossin らが誤りに気づいた後、非常にタイムリーに訂正を提出し、IPCC の SYR に含めるための期限よりずっと前に修正が公表されたにもかかわらず、IPCC の見落としは起こった。IPCC の著者たちは、この訂正を知らなかったのだろうか？ 知っていながら無視したのだろうか？

熱帯低気圧については、じつは IPCC は正しい判断をしていたことが判明しており、それは [SROCC 第 6 章](#) を読み解くとわかる：

「ほとんどの熱帯低気圧の指標において、確信の持てる気候変動の検出ができないため、将来予測や過去の変動、熱帯低気圧事象の帰属の両方において、確信が持てない状態が続いている。というのも、多くの公開されている研究においては、熱帯低気圧事象の帰属は、一般的に、熱帯低気圧事象の長期的傾向についての確信できる気候変動の検出による裏付けなしに推測されているからである。」

将来的には、IPCCは私を雇うことを検討するかもしれない。なぜなら、私は彼らよりもこの文献をよく知っているからだ。

この考察についてはパート2で、科学の観点から、すべての熱帯低気圧に占めるカテゴリ3以上の熱帯低気圧の発生割合について、データは実際のところ何を語っているかを紹介しようと思う。そして、IPCC AR6 SYRにおける検出と帰属の主張が明らかに誤りであることを示すつもりだ。

参考文献：

Bouwer, L. M., & Wouter Botzen, W. J. (2011). [How sensitive are US hurricanedamages to climate? Comment on a paper by WD Nordhaus.](#) *Climate ChangeEconomics*, 2(01), 1–7.

Collins, D., & Lowe, S. P. (2001). [A macro validation dataset for US hurricane models.](#) *Casualty Actuarial Society*.

Grinsted, A., Ditlevsen, P., & Christensen, J. H. (2019). [Normalized US hurricanedamage estimates using area of total destruction, 1900– 2018.](#) *Proceedings of theNational Academy of Sciences*, 116(48), 23942-23946.

Klotzbach, P. J., Bowen, S. G., Pielke, R., & Bell, M. (2018). [Continental US hurricanelandfall frequency and associated damage: Observations and future risks.](#) *Bulletin ofthe American Meteorological Society*, 99(7), 1359–1376.

Martinez, A. (2020). [Improving normalized hurricane damages.](#) *Nature Sustainability*, 3, 517–518.

Pielke, R. A., Gratz, J., Landsea, C. W., Collins, D., Saunders, M. A., & Musulin, R. (2008). [Normalized hurricane damage in the United States: 1900–2005](#). *Natural Hazards Review*, 9(1), 29–42.

Pielke, R. A., & Landsea, C. W. (1998). [Normalized hurricane damages in the United States: 1925–95](#). *Weather and Forecasting*, 13(3), 621–631.

Schmidt, S., Kemfer., & Höppe, P. (2009). [Tropical cyclone losses in the USA and the impact of climate change – a trend analysis based on data from a new approach to adjusting storm losses](#). *Environmental Impact Assessment Review*, 29(6), 359–369.

Weinkle, J., Landsea, C., Collins, D., Musulin, R., Crompton, R. P., Klotzbach, P. J., & Pielke, R. (2018). [Normalized hurricane damage in the continental United States 1900–2017](#). *Nature Sustainability*, 1(12), 808