

令和6年度 気候変動適応の研究会

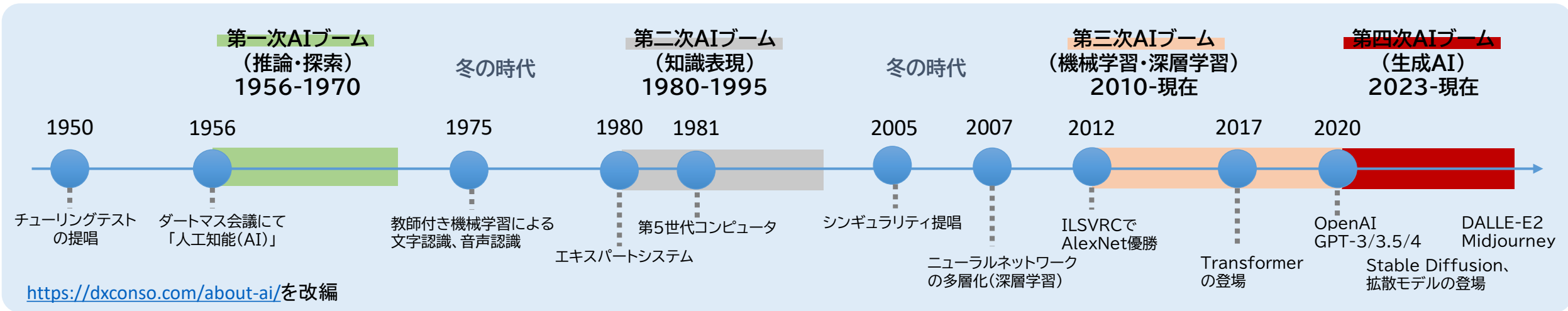
# 地域気候サービスのための 生成AI基盤モデルの開発 に向けた取り組み

海洋研究開発機構

松岡 大祐

# 提案の背景

## — AI開発の動向と現状 —

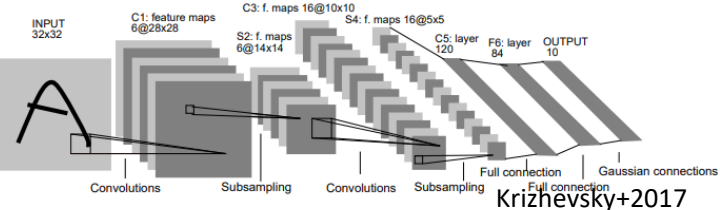


### 識別系AIの登場と産業・学術への利用

大規模画像データベースImageNet (2012)



### 畳み込みニューラルネットワークによる手書き文字認識

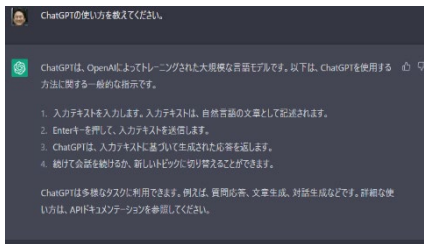


### 生成AIのサービス化

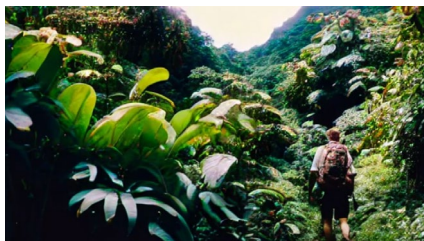
画像生成AI



文章生成AI



動画生成AI

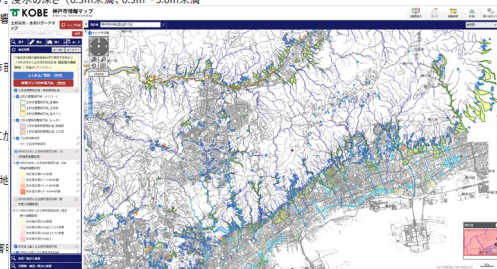


### 大規模言語モデル

この図は神戸市の土砂災害ハザードマップです。この図から分かることを教えてください。

この図は、神戸市の土砂災害および水害ハザードマップです。以下の点が読み取れます：

1. 土砂災害警戒区域と特別警戒区域：
  - ・ 黄色、橙色、赤色で示された区域があり、それぞれ「土砂災害警戒区域（イDゾーン）」「土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）」などに分けられています。
  - ・ 山間部や川沿いの地域で多く見られ、特に急峻な地形が多いエリアが警戒対象です。
2. 河川洪水による水害のリスク：
  - ・ 河川の氾濫による浸水想定区域が色分けされています。浸水の深さ（0.5m未満、0.5m～3.0m未満など）によって分けられており、川沿いの低地が特に影響を受けやすいです。
3. 内水氾濫によるリスク：
  - ・ 市街地の中でも低地にあたる場所が内水氾濫（都市部）とされています。
4. 災害リスクの集中：
  - ・ 特に神戸市中央区や東灘区などの都市部から山地に合っている地域が多く存在しています。
  - ・ 神戸市の地形特有の要因として、六甲山系から市街地へのリスクが高まっていることが見受けられます。
5. 避難経路や避難場所：
  - ・ 図の中に避難場所や避難経路も示されています。災害発生時には事前の確認が必要です。



このマップは神戸市民が土砂災害や洪水に対して備えるために作成されており、リスクの高い地域に住む人々に対して警戒を促すための重要なツールです。

# 提案の背景

— 経済産業省 GENIACプロジェクト —

- 国産生成AI開発力強化のための助成事業
- 基盤モデル開発から特定目的のための特化型モデル開発まで

The screenshot shows the GENIAC website with the following content:

- Header: 経済産業省 (Ministry of Economy, Trade and Industry)
- Navigation: ニュースリリース, 会見・談話, 審議会・研究会, 統計, 政策について
- Main Title: GENIAC (Generative AI Accelerator Challenge)
- Text: ニッポンの生成AI開発力を解き放つ
- Participating Organizations: ABEJA, AldeaLab, AiHUB, AI inside, EQUES, Kotoba Technologies, NABLAS, Preferred Elements, Preferred Networks, SYNTHETICGESTALT, TURING, woven by TOYOTA, al+, JAMSTEC, KARAKURI, Stockmark, DATAGRID, Humaname Lab, FUTURE, RICOH, ubitus, Deeprepreneur.

## 地域気候サービスのための生成AI基盤モデル開発 (2024年10月～2025年4月)



上席研究員  
松岡 大祐



会社名	国立研究開発法人海洋研究開発機構
所在地	神奈川県横須賀市夏島町2番地15
URL	<a href="https://www.jamstec.go.jp/j/">https://www.jamstec.go.jp/j/</a>

国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)は、平和と福祉の理念に基づき、海洋・地球・生命の統合的な理解と、社会的な課題解決への貢献を目指した文部科学省所轄の研究機関です。海洋国家の日本において、海の研究を通じて、科学技術の向上、学術研究の発展、地球や生命の理解などに広く貢献するための活動に取り組んでいます。

地球環境の把握、海洋資源の利用、地震・火山活動に関する調査研究を進めるとともに、それらの研究を支える探査機・観測機器の運用や技術開発を行い、さらには、革新的な成果や発見につながる最先端の研究を推進しています。また、研究活動によって得られたデータから新たな価値を生み出し、政策的な課題解決や社会・経済のニーズに貢献するための研究開発を進めています。

JAMSTECはスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を有しており、気候変動予測などのシミュレーション研究も盛んに行われています。本事業では、アンサンブル気候予測データベース(d4PDF)と大規模言語モデルを活用することで、効果的かつ現実的な地球温暖化対策(適応策、緩和策)を立案するための「地域気候サービス」を実現するための生成AI基盤モデルの開発を目指します。

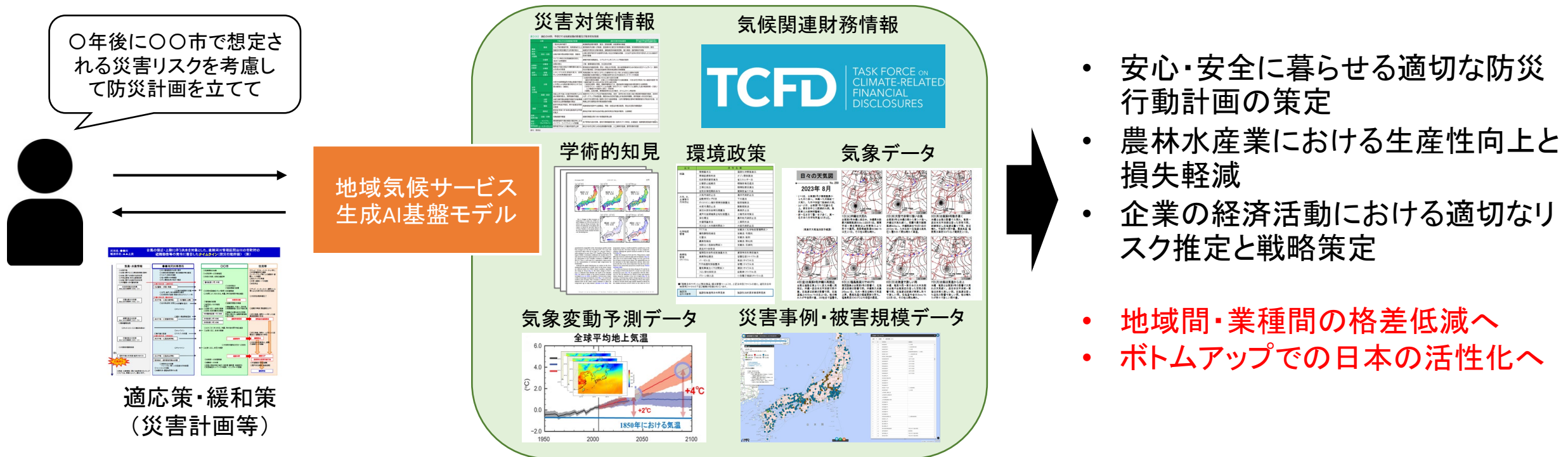
[https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/geniac/index.html](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/geniac/index.html)





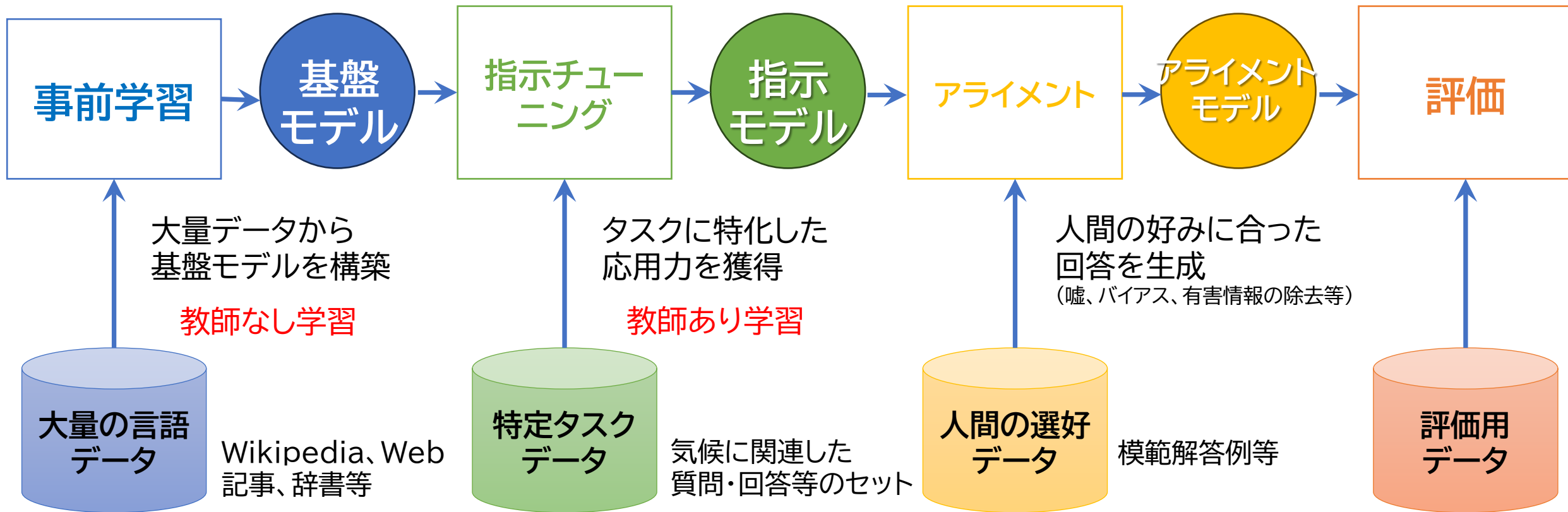
# 提案の目的

- 生成AI(大規模言語モデル:LLM)による対策立案のサポート
  - 行政機関・地方自治体・農林水産業・企業等に対するリスク情報創生と対策(適応策・緩和策)立案に資する地域気候サービス
  - 社会・経済活動における気候変動による損失軽減へ



# 気候特化型モデル構築の流れ

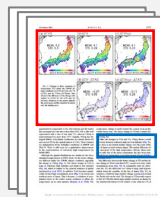
- 基盤モデル(GPT、Llama等の汎用的なモデル)をベースに、気候学の知識を有する特化型モデルの構築へ



# 開発する特化型モデルの概要

基盤モデルをベースとして、気象・気候学の知識や温暖化予測データを有する特化型モデルへ

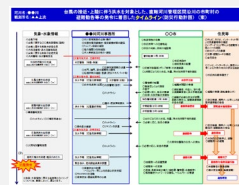
気象・気候学の  
学術論文・専門書等



Encoding  
Splitting

Images

Texts



適応策・緩和策、  
TCFDレポート等

Texts

Embedding

Instruction tuning or RAG

Instruction tuning or RAG

モデルの基本性能の向上

LLM

Output: (例)適応策  
Rationale: 根拠となる情報

過去の  
気象概況



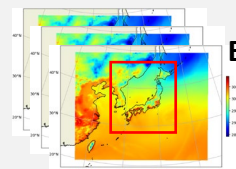
Encoding

Texts

Instruction tuning

RAG

過去の気象  
データ



Encoding

Images

Embedding

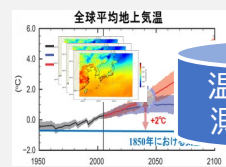
Vector DB

ユーザー  
行政担当者等

Prompt:

○年後に○○市で想定される  
気温と降水量の予測情報  
を考慮して実現可能性の  
高い適応策を立てて

Base model:  
Llama-3.1-Swallow-70B-Instruct-v0.1



温暖化予測データ

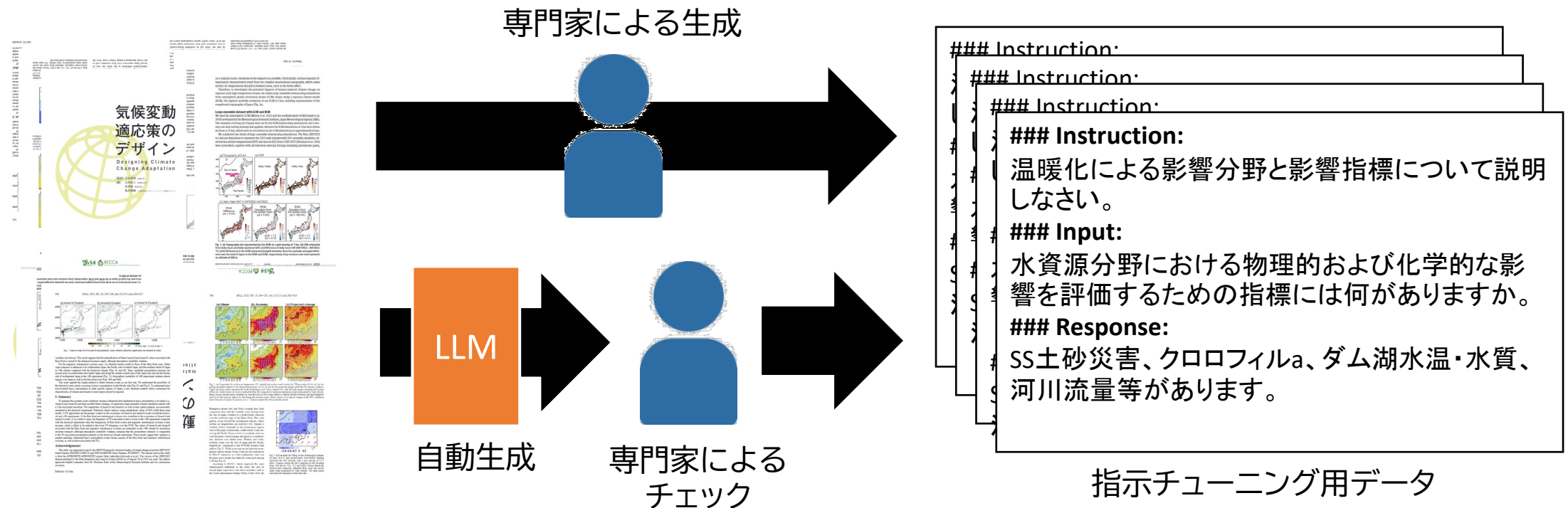
Encoding

d4PDFから予測情報を取得し、活用



# 気候学に特化したモデルのチューニング

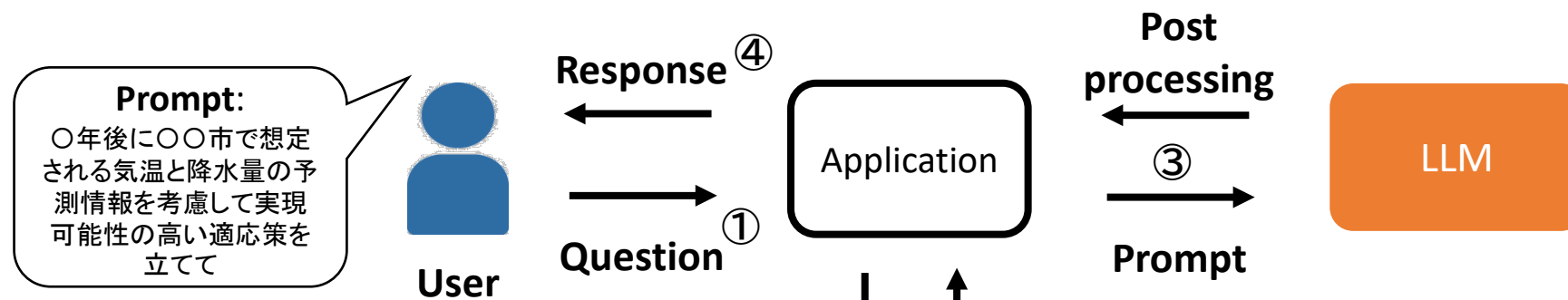
- 指示チューニング用データ(質問と応答のセット)を用いて、基盤モデルのパラメータを更新
- LLMを用いて、論文や報告書等の関連文書からチューニング用データを自動的に生成





# 外部知識・外部データの活用

- 検索拡張生成(RAG: Retrieval Augmented Generation)によるテキスト、数値(シミュレーション結果)、画像データの利用
- モデルが有していない知識(最新情報含む)の活用が可能に



- ① ユーザーはアプリケーション(Chatbot等)に質問
- ② 与えられた質問に対して、ベクトルデータベースから似た情報を検索し、コンテキスト情報を返す
- ③ LLMに対してコンテキスト情報とともに命令文を入力し、テキストを生成
- ④ ユーザーに生成結果を返す

Semantic search ② Contextual data

Vector DB

text, image, csv, etc.

Encoding

基本的な統計量をデータベース化

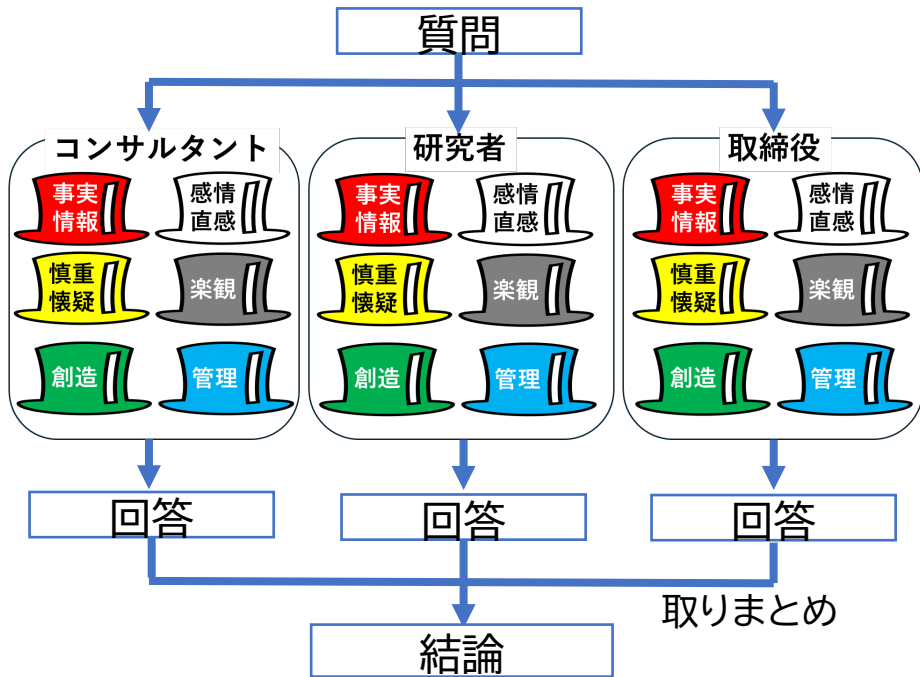
物理量	値の下限	値の上限	地域	季節	シナリオ	確率
気温(°C)	19	20	東京	8月	非昇温	0.025
気温(°C)	20	21	東京	8月	非昇温	0.05
気温(°C)	21	22	東京	8月	非昇温	0.05
気温(°C)	22	23	東京	8月	非昇温	0.075
気温(°C)	23	24	東京	8月	非昇温	0.1
気温(°C)	24	25	東京	8月	非昇温	0.325
気温(°C)	25	26	東京	8月	非昇温	0.1
気温(°C)	26	27	東京	8月	非昇温	0.1
気温(°C)	27	28	東京	8月	非昇温	0.05
気温(°C)	28	29	東京	8月	非昇温	0.025
気温(°C)	29	30	東京	8月	非昇温	0.025
気温(°C)	30	31	東京	8月	非昇温	0.025
気温(°C)	31	32	東京	8月	非昇温	0.025
気温(°C)	32	33	東京	8月	非昇温	0.025
気温(°C)	33	34	東京	8月	非昇温	0



⋮

# プロンプトエンジニアリング

- LLMに対して指示または質問する際の入力テキスト(プロンプト)の形式を変更することによってより良い生成結果を引き出すための技術
- ハルシネーション対策、特定タスクへの最適化、簡潔なプロンプトによるトークン数の節約等



#### ### 指示:

東京海上ホールディングスにおいて次の目標を達成するために3人の専門家が話し合ってアイデアを出してください。期待しています。

#### ### 目標:

再生可能エネルギー普及を後押しするための保険提供の拡大。

#### ### 手順:

- 3人の専門家がアイデア発想法のシックスハット法を利用してアイデアを考案します。
- それぞれの専門家が気に入ったアイデアについて語ります。
- 各ステップで各専門家は他人の説明を考慮して間違いや弱みを率直に受け入れ、他人の考えを洗練させながら、そのアイデアを発展させます。
- 帽子の色を白、赤、黒、黄色、緑、青の順番で変えて、1~3を繰り返します。最初は全員、白の帽子の視点で考案してください。
- 3人の意見を組み合わせて最終的なアイデアを3つ出力します。

#### ### 専門家:

- 気候関連のリスクに精通したコンサルタント
- 気候変動を専門とする研究者
- 金融経済に精通した東京海上ホールディングスの取締役

#### ### 背景:

2024年度のTCFDレポートによると今までに東京海上ホールディングスは様々な形で再生可能エネルギーの普及を後押ししてきました。以下はその代表的な事例です。

- 東京海上日動は、まだ日本では洋上風力発電の存在が広く知られていなかった2013年から世界各地で保険の引き受けを行っており、現在では洋上風力関連の保険分野において国際的にも主要プレーヤーの一社とみなされています。
- 東京海上日動は、太陽光PPA(Power Purchase Agreement)事業者向けに、発電設備の損壊リスクや管理に起因する賠償責任リスク、需要家(太陽光発電設備を利用する法人)の倒産リスク等を包括的に補償する「太陽光PPA事業者向けパッケージ保険」を提供しています。
- 天候の影響を受けやすく供給量が不安定な再生エネルギー発電事業者にとっては、発電量と電力需要とのギャップが課題です。その解決策として、事業者が発電した電力を貯蔵しておく蓄電システムが注目されています。

#### ### 制約:

- 日本語で議論を行ってください。
- 説得力や実現可能性を重視してください。
- 最終的なアイデアの出力結果には、内容 意義 実現可能性を詳細に記載してください。

# プロンプトエンジニアリング

## 「事実と情報」

専門家A: 気候関連のリスクに精通したコンサルタント  
「再生可能エネルギー事業者、特に太陽光発電事業者は、天候リスクや設備の老朽化、需要家の倒産リスクに直面しています。これらのリスクは、特に異常気象が増加する中で深刻化しており、保険によるリスク分散が急務です。」

専門家B: 気候変動を専門とする研究者  
「気候変動の影響により、異常気象の頻度が上がっており、再生可能エネルギーの発電量にも大きな変動が見られます。今後、蓄電システムや高度な気象予測技術を活用した対応が必要になるでしょう。」

専門家C: 東京海上ホールディングスの取締役  
「太陽光PPA事業者向けパッケージ保険はすでに提供されていますが、今後の市場拡大に向けて、新技術の普及やさらなる補償の範囲拡大が求められています。保険市場の成長にとってもチャンスです。」

## 否定的視点

専門家A  
「ただし、AIを活用したリスク予測技術や蓄電システムの普及にはコストがかかるため、保険料が高額になる可能性があります。導入の敷居が高くなる懸念があります。」

専門家B  
「気候変動の影響は予測が難しく、技術だけでは完全にリスクを管理しきれない場面もあります。特に大規模な異常気象に対しては、保険の範囲外となる可能性もあります。」

専門家C  
「信用リスク保険を拡充する際に、事業者がリスク回避行動を取らず、逆に無謀な投資を進めることを助長する可能性も考えられます。バランスが重要です。」

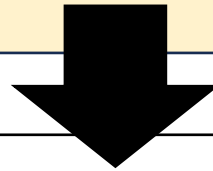
## 創造的視点

専門家A  
「AIによる天候リスク予測を利用して、発電量の変動に応じて自動的に保険料が調整される『動的保険』はどうでしょう？これにより、リスクが高い時期にはより強力なカバーが提供され、コスト効率も向上します。」

専門家B  
「再生可能エネルギー事業者向けに、蓄電システムの保証だけでなく、技術進歩に応じた補償範囲の拡大を含む『テクノロジー適応型保険』も考えられます。事業者が新しい技術を導入しやすくなり、リスクを軽減できます。」

専門家C  
「信用リスクをAIで予測し、リスクに応じて保険料や補償範囲を調整する『信用予測保険』も有効です。これにより、リスク管理が高度化し、倒産リスクが低減します。」

最終的に「管理」の視点から最終アイデアを取りまとめる



## 1. 動的発電リスク保険

内容: AIを活用して天候リスクを予測し、発電量の変動に応じて保険料が自動的に調整される保険。  
意義: 事業者のリスク管理を高度化し、天候リスクに柔軟に対応。安定した収益を確保。  
実現可能性: 既存のAI技術を活用し、導入可能。リスクの精度を高めるデータ収集が課題。

## 2. テクノロジー適応型蓄電保険

内容: 蓄電システムの保証に加え、技術進歩に応じた補償範囲を提供する保険。事業者が新技術を導入しやすいよう支援。  
意義: 再生可能エネルギーの安定供給を確保し、技術革新を後押し。蓄電システムの導入が加速。  
実現可能性: 技術の進展に応じた柔軟な保険設計が必要だが、成長分野であり実現性は高い。

## 3. 信用予測付きPPA保険

内容: AIを活用して需要家の信用リスクを予測し、リスクに応じて保険料や補償範囲を調整する保険。  
意義: 事業者が新規契約や拡大に際して安心してリスクを管理できる。信用リスクの予測精度向上により、リスクを最小化。  
実現可能性: AIを用いた信用リスク予測は既存の技術で可能。保険設計の高度化が求められるが、実現可能。

参考)東京海上ホールディングスTCFDレポート

リスク	概要	2024年以降のリスク評価	2024年以降のリスク評価
気候変動	気候変動による物理的リスクと移行リスク	高	高
水資源	水資源不足による生産コストの上昇	中	中
自然災害	自然災害による資産の毀損	中	中
信用リスク	信用リスクによる収益の減少	中	中
サイバーセキュリティ	サイバーセキュリティによるデータの漏洩	中	中
人材	人材不足による業務の停滞	中	中
規制	規制の変化によるコストの上昇	中	中
その他	その他	中	中

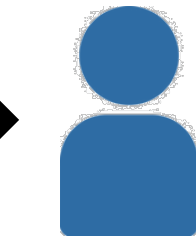
# モデルの評価

- 「モデルの基本性能」と「生成結果」に対する定量的な評価を行うベンチマークを構築
- LLMを用いてモデルの評価用ベンチマークを自動生成し、人為的にチェック
- ベンチマークを用いない専門家の主観によるスコアリングも

専門家による生成



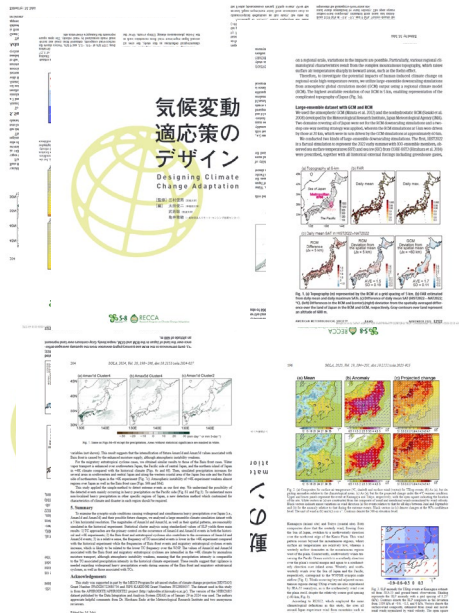
自動生成



専門家による  
チェック

No.	Image	Caption	Question	Answer
1		Changes in measure of temperature (deg C) in Japan under the 4K global warming climate condition.	Which of the following reasons explain why future temperature changes will have the distribution shown in the figure?	A) Higher latitudes are more susceptible to the impacts of global warming compared to lower latitudes. B) Higher levels of extraterrestrial activity have been shown to influence Earth's climate and temperature patterns. C) The topography of the region influences local temperature variations and distribution. D) The amount of time people spend watching TV directly impacts the temperature changes in their local area.
2		Outgoing longwave radiation (OLR) simulated by a Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM).	Which of the following images depicts the precursor to a tropical cyclone?	A) Top left and Bottom right B) Bottom left. C) Top right. D) Top left and Top right.
3			⋮	

評価用ベンチマーク例





# 最終成果目標

## 1. モデルの精度

- KPI: ファインチューニング後のモデルの生成品質(例: BLEUスコア、ROUGEスコア、FactCCなどの指標)
- 目標値: **ベースラインモデル(既存の基盤モデル)からの精度向上率20%以上**

## 2. 自治体向け防災行動計画生成(または企業のTCFDレポート生成、農林水産業向け対策レポート)

- KPI: 自治体における防災行動計画の生成精度(外部有識者によるスコアリング)
- 目標値: **評価スコア80%以上**

## 3. マルチモーダルRAG(外部知識・外部データ)の統合

- KPI: マルチモーダルRAGによる外部知識統合率(実際に使用された外部データの適用率)
- 目標値: **適用率90%以上**

## 4. 外部知識・外部データのアップデート頻度

- KPI: 外部知識(過去気象データ、災害情報)の更新頻度
- 目標値: **毎月1回以上のアップデート**

## 5. システムの応答時間

- KPI: モデルの応答時間(クエリ処理から結果生成までの時間)
- 目標値: **5秒以内**