

# ニューラル言語モデルによる個人最適な日本語入力システムの開発 ー 高度な個人最適化・翻訳・生成の IME への統合 ー

## 1. 背景

日本語入力において中心的な役割を占めるかな漢字変換は、1960 年代から研究が進められてきた。初期のアルゴリズムでは、計算速度とメモリの制約から効率を重視した手法が用いられていたが、計算機の性能が向上するにつれて、1990 年代後半からは確率モデルを用いる統計的かな漢字変換が主流となり、大規模な言語データを用いて確率モデルを構築することで文脈幅の制約を受けつつも妥当な変換結果を得られるようになった。

近年、ニューラルネットワークを用いてかな漢字変換を End-to-End でモデル化するニューラルかな漢字変換が注目されている。RNN や LSTM、Transformer などを用いた手法が研究レベルでは提案されているものの、実用化はまだ限定的である。ローカル環境においてリアルタイムで変換候補を更新し続ける必要があるかな漢字変換ではニューラルネットの推論の計算負荷が大きな障壁となる。また、既存のシステムは複雑に発達しており、End-to-End のシステムに置換することは容易ではない。

この結果として、実用的なオープンソースのニューラルかな漢字変換システムは未だ存在せず、実用化に際するあらゆる知見が得られていない状態にある。

## 2. 目的

ニューラルかな漢字変換は高い変換精度を実現することが期待できるが、その実用化はいまだ研究段階にある。本プロジェクトでは最新の自然言語処理技術を取り入れた高精度なニューラルかな漢字変換システムを構築し、高精度な変換、実用のための個人最適化、入力支援の向上を実現する日本語入力システムを開発した。最先端の性能と実用性を兼ね備えることを第一の目標とし、大胆な方針を採用できるようにすべく GPU の利用や高スペックな端末での動作を前提とした。計算機の性能向上については将来的な技術進展に委ねる方針を採った。

これにより、精度と使い勝手の両面で優れたシステムを提供し、ニューラルかな漢字変換の普及と日本語入力の進化を促進したいと考える。

## 3. 開発の内容

### 3. 1. Zenzai（ニューラルかな漢字変換エンジン）の開発

本プロジェクトでは、GPT-2 アーキテクチャによる日本語言語モデルにかな漢字変換に特化した追加学習を行い、かな漢字変換を End-to-End で実施するニューラル言語モデル「zenz」を開発した。zenz は日本語テキストデータに対して読み推定パイプラインを用いることで得られる「読み」と「変換候補」のペアを学習し、推論時には「読み」としてユーザ入力を受け取り、「変換候補」を自己回帰的に生成する。こ

れにより、外部の辞書モジュールに依存することなく、ひらがな入力から漢字交じりのテキストを直接予測できる。さらに、GPU 環境を前提に量子化や KV キャッシュなどを組み合わせて処理を最適化し、ニューラルモデルによる推論を実用的な速度で実行できるよう工夫した。

### 3. 2. 投機的デコーディングと高速化

zenz は 91M パラメタと軽量のモデルであるが、生成を行うには推論時間が長く、リアルタイム動作には課題があった。そこで Zenzai では、従来の統計的な漢字変換システムを「ドラフトモデル」として利用する投機的デコーディング手法を導入した。まず高速であるドラフトモデルが変換候補の「下書き」を生成し、後段で zenz がそれを検証・修正する。こうすることで zenz の推論回数を大きく削減できる。zenz の推論回数の上限を制限する設定を設けることで、実行する端末の性能に合わせた推論負荷の調整も可能になった。

### 3. 3. 条件付き変換と変換プロンプト

Zenzai では確定済みの文脈や、ユーザが自由な指示を書ける「変換プロンプト」によって多様な条件付けを行うことが可能である。たとえばプロフィールや話題トピックを与えることで、文章の文体や専門用語をより正確に変換できるようになる。こうした柔軟な条件付けは、従来の辞書ベース変換では扱いづらかった広範な情報を活用する手段となる。

### 3. 4. Tuner（個人最適化モジュール）の設計と動作

従来の日本語入力システムはユーザが文章を入力したあとに学習する「履歴学習」を中心に個人最適化を行っているが、本プロジェクトではユーザが読んだ文章に対して先回りして最適化をかける「画面学習」を導入した。Tuner は画面上のテキストを記録し、これを Zenzai の日本語入力に反映するため処理するシステムである。

Tuner は macOS のアクセシビリティ API を活用して、画面に表示されたテキストやインポートしたファイルを収集する。取得テキストは MinHash 法を用いて近似重複を排除し、専門用語やユーザ特有の表現を含むデータを効率的に学習可能にする。

このデータから「ユーザ言語モデル」を構築し、これを Zenzai の推論時に用いる。言語モデル間で実行時に動的に差分を適用する代理チューニングの仕組みを用いることで、ニューラルモデルを再学習せずにユーザごとの言語環境に適応させることができるようになった。このユーザ言語モデルには 5-gram モデルを用いている。

### 3. 5. azooKey on macOS

本プロジェクトで開発した「azooKey on macOS」は、高精度な変換を実現する Zenzai を搭載し、Tuner と連携して個人最適な変換候補を提示する日本語入力システムである。OS 標準に近い変換候補ウィンドウや簡潔な設定画面を備え、ユーザ辞書や履歴学習などの機能も従来の日本語入力と同様に利用できる。

### 3. 6. いい感じ変換

azooKey on macOS では、入力支援機能として「いい感じ変換」を搭載した。「いい感じ変換」は大規模言語モデルの文脈理解に基づき、単一のインターフェースで翻訳・言い換え・絵文字の推薦などの多様な機能を統合的に呼び出せる仕組みである。具体的には、ユーザが「ワラッテイルエモジ」「エイゴ」「イイワケ」などを入力すると、その前の文脈に応じた出力を LLM が生成し、その結果を入力候補として提示する。たとえば「ペットがいなくなった」という文脈に対して「エモジ」を変換すれば悲しい絵文字「😞」を、また「オオサカノオバチャンッポク」といったクエリであれば、直前の文章に対する方言調の言い換えを提案するなど、状況に応じて「いい感じ」に文章を変換するのが特徴である。ユーザが無入力の状態でのこの機能呼び出すと「ツツキ」の入力に準じて後続文を生成するなど、柔軟な文章補完機能も備えている。

### 4. 従来の技術（または機能）との相違

従来のかな漢字変換手法は、文脈幅の極小な言語モデルに基づいた統計的手法に大きく依存しており、長い文脈を考慮するのは計算コストが高く、ユーザの好みに対応するのも限界があった。この点、本プロジェクトで開発した Zenzai はニューラル言語モデルに基づく End-to-End のかな漢字変換を実現しながら、高速化のための新たなアルゴリズムを構築し、その実用性を示している。また、Tuner によって履歴学習に加えて先回りの学習を可能にする「画面学習」を提案したほか、ニューラル言語モデルの個人最適化という問題に軽量高速な解決策を導入した。azooKey on macOS は、こうした統合的なアプローチによって、歴史的経緯から複雑なソフトウェアとなっている日本語入力システムにニューラルかな漢字変換を導入し、高い精度を実現できることを示した。azooKey on macOS ではこれにとどまらず、「いい感じ変換」などのユニークな変換機能を導入し、日本語入力システムのインターフェースの将来像を浮かび上がらせている。これらの点で Zenzai、Tuner、azooKey on macOS が実現した技術は従来未開拓であった領域であり、既存技術との大きな差異を持っている。

### 5. 期待される効果

開発したシステムが実装するニューラルかな漢字変換と個人最適化機能は、文章の入力やドキュメント作成を必要とする幅広い分野に活性化をもたらすと期待される。特に、研究やビジネスの現場では、高精度かつ文脈を深く考慮した変換によって執筆作業が効率化し、生産性の向上が見込める。従来は専門用語などに悩まされやすかった技術文書や学術論文においても、辞書拡張をユーザが自力で行わずとも画面学習を通じてモデルが自動的に適応しやすくなるため、利用者の負担は大きく軽減される。

また、個人単位で変換精度を高められることにより、在宅勤務・リモートワークの増加に伴うコミュニケーション効率の向上や、教育・福祉分野での入力支援など、多面的な活用が可能である。加えて、本プロジェクトではオープンソース化の一環で学習・評価データの公開などを行った。このような取り組みから、新たな日本語処理技

術や関連産業（自然言語処理、ソフトウェア開発ツール、ユーザインタフェース設計など）のさらなる発展が期待出来る。

## 6. 普及（または活用）の見通し

開発したシステムは、オープンソースとして公開し、多くのユーザや開発者が利用しやすい形を目指している。興味を持ったユーザは「azooKey on macOS」を GitHub からダウンロードし、すぐに macOS の日本語入力としての利用を開始できる。

また、OSS コミュニティによって Windows や Linux への対応も有志で進められており、クロスプラットフォームでの利用も現実味を帯びている。さらに、近年の最適化技術の進展により、端末スペックや GPU 環境に対する要求も以前ほど高くなく、比較的手軽に使えるようになっている。そのため、ハイエンド端末に限らず、一般的な PC やノートパソコンでも快適に動作する見込みである。macOS 環境では、2020 年発売の M1 チップ搭載端末でも十分な速度で動作することを確認できている。

各種 OSS コミュニティと連携しながら改良や機能拡張を進め、日本語入力の高度化に関心のある個人や組織を中心に、利用者の拡大を見込めると考えている。

## 7. クリエータ名（所属）

三輪 敬太（Turing 株式会社, 東京大学）

高橋 直希（株式会社 CoeFont, 早稲田大学）

### （参考）関連 URL

- azooKey on macOS のリポジトリ
  - <https://github.com/azooKey/azooKey-Desktop>
- Tuner のリポジトリ
  - <https://github.com/azooKey/Tuner>
- Zenzai のレポジトリ
  - <https://github.com/azooKey/AzooKeyKanaKanjiConverter>
- Zenzai について執筆した記事
  - <https://zenn.dev/azookey/articles/ea15bacf81521e>
- アクセシビリティ API の利用方法について執筆した記事
  - <https://zenn.dev/azookey/articles/8835f5ebd7dcd9>
- zenz-v2.5 と学習用データセット
  - <https://huggingface.co/collections/Miwa-Keita/zenz-v25-6784cd5d57147f61bc4c3031>
- 評価用ベンチマーク
  - <https://github.com/azooKey/AJIMEE-Bench>
- iOS で利用できるソフトウェアキーボード azooKey
  - <https://azookey.netlify.app/>