



# 深層学習による睡眠自動解析

計算情報学部門・データ基盤分野

睡眠ビッグデータグループ

堀江和正

# 睡眠ビッグデータグループ

---

メンバーの紹介

IIIS・睡眠専門医との連携

具体的な研究例

- 家庭用睡眠計の開発・睡眠ステージ自動判定
- 睡眠時脳波のノイズ処理
- 睡眠時情動の自動解析(ヒューマニクス学位P連携課題)
- 起床時の覚醒度判定

# 睡眠と健康

## 睡眠は、健康維持に非常に重要

- 睡眠時無呼吸症候群(SAS)
  - 中～重度のSAS患者の経時死亡率に有意差
  - Quality of Life (QOL)も健常者と大きな差が
- 睡眠不足や不眠症
  - 日中の倦怠感・意欲低下・集中力低下・食欲低下
  - メタボ等, 生活習慣病にも関連

Giles TL, et al. Continuous positive airway pressure for obstructive sleep apnea. The Cochrane Library, 2001.

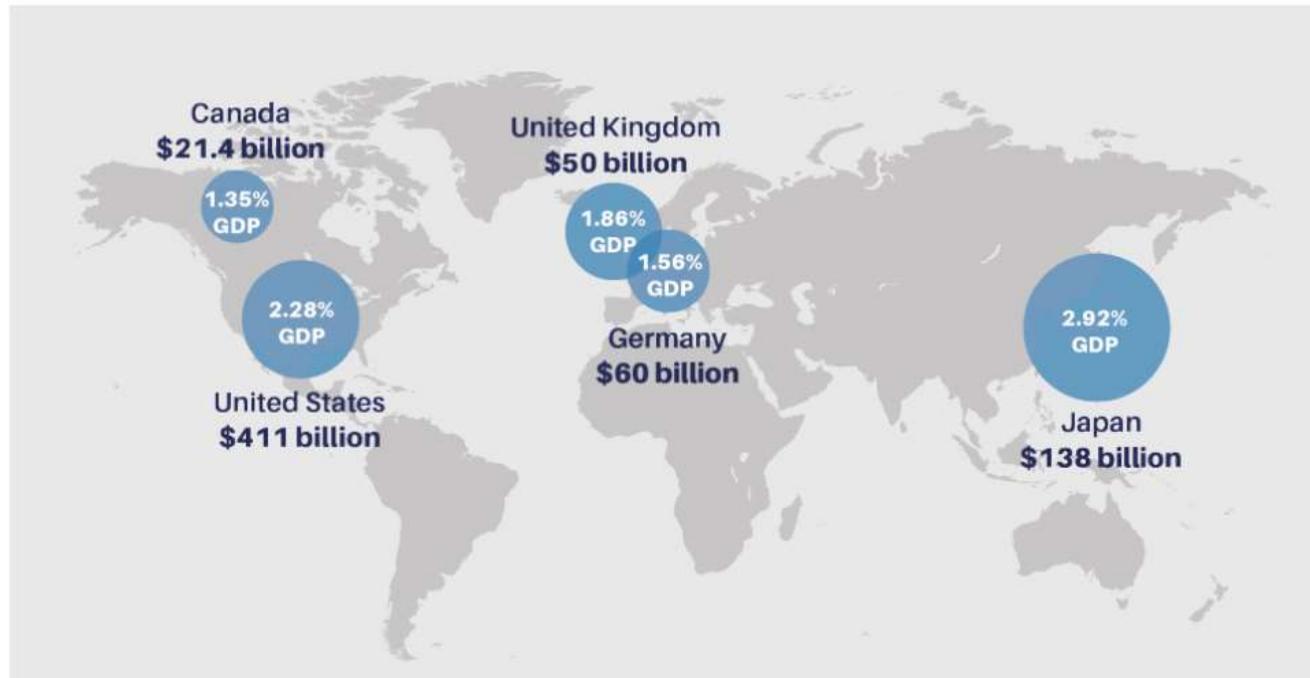
Kristen LK, et al. The metabolic consequences of sleep deprivation. Sleep Medicine Reviews, 2007.



良い睡眠＝健康に暮らす第一歩

# 睡眠と経済

「睡眠不足」「睡眠障害」による労働効率の悪化や事故  
→経済・生産効率・GDPに悪影響



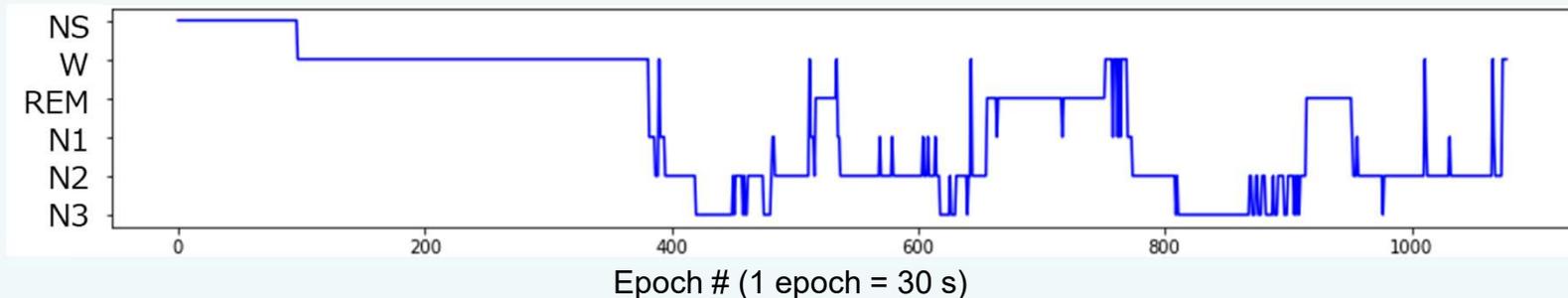
Why Sleep Matters: Quantifying the Economic Costs of Insufficient Sleep (Rand Corporation, 2016)

いい睡眠は経済面においても重要

# では良い睡眠とは？

定義困難かつ，技師間でも統一見解無し  
しかし，「睡眠ステージ(状態)」が基準となりうる

## 睡眠ステージ(状態)



睡眠ステージを判定→自分の睡眠を把握

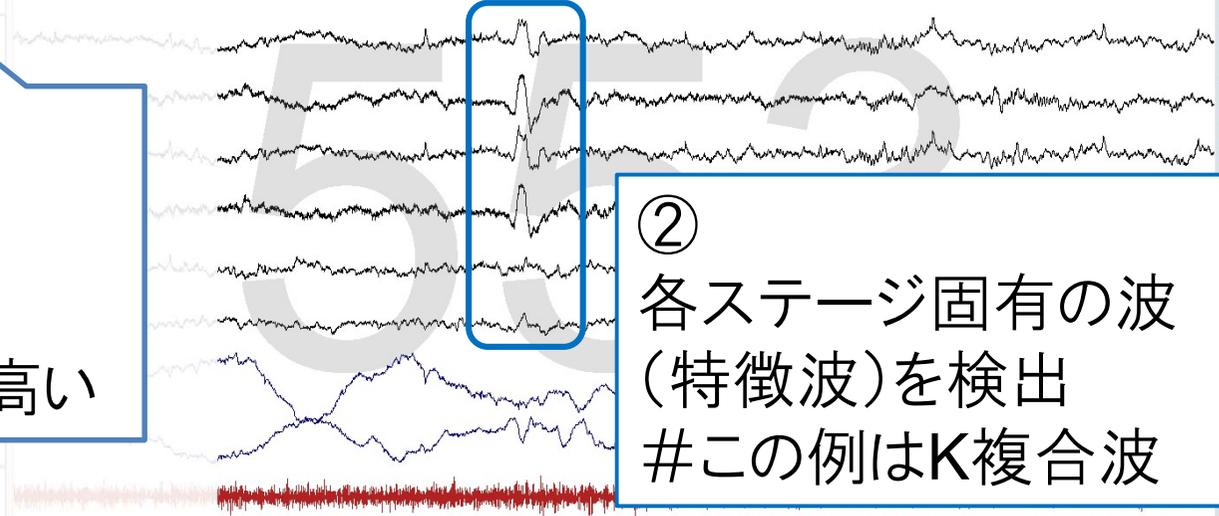


# 睡眠ステージ判定の手順と普及の課題



課題②  
特徴波抽出は「技師が目視」で実行  
→時間的・労力的な負担が大きい

課題①  
生体信号の計測は、  
**入院が必要**  
→検査のハードルが高い



②  
各ステージ固有の波  
(特徴波)を検出  
#この例はK複合波

(sited from) <http://isdhealthsolutions.com/store/in-lab-sleep-test/in-lab-psg-sleep-study/>

# 解決方策と研究目的

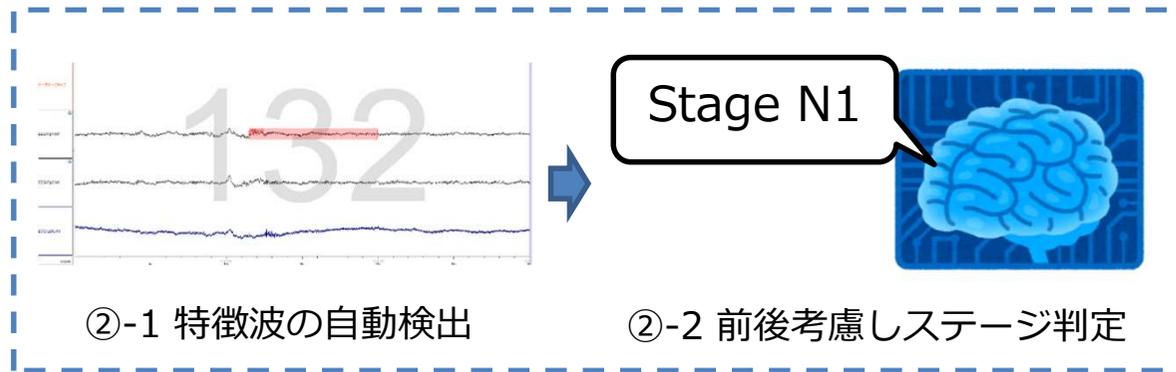
課題①: 計測に入院が必要

課題②: ステージ判定手順の労力が大きい

目標とするステージ判定手順



①家庭向け睡眠計による  
生体信号計測



②-1 特徴波の自動検出

②-2 前後考慮しステージ判定

②深層学習モデルでステージ自動判定



SUIJIN  
Sleep is the Ultimate Intelligent Mechanism In Nature

が担当



筑波大学

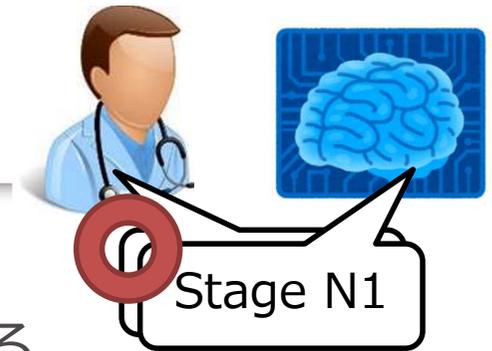
計算科学研究センター  
Center for Computational Sciences



IIS  
INTERNATIONAL INSTITUTE FOR INTEGRATIVE  
SLEEP MEDICINE

が担当

# 達成すべき目標 1 : 高精度の判定

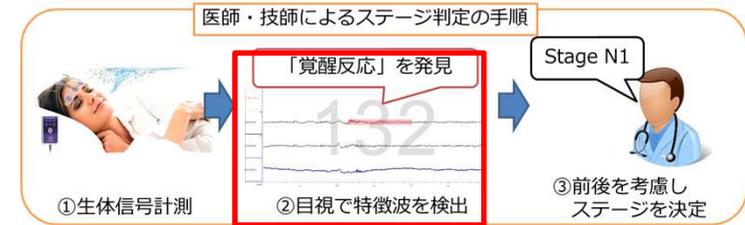


本格研究で使用するためには、  
「医師・技師の判定と同等」である必要がある。

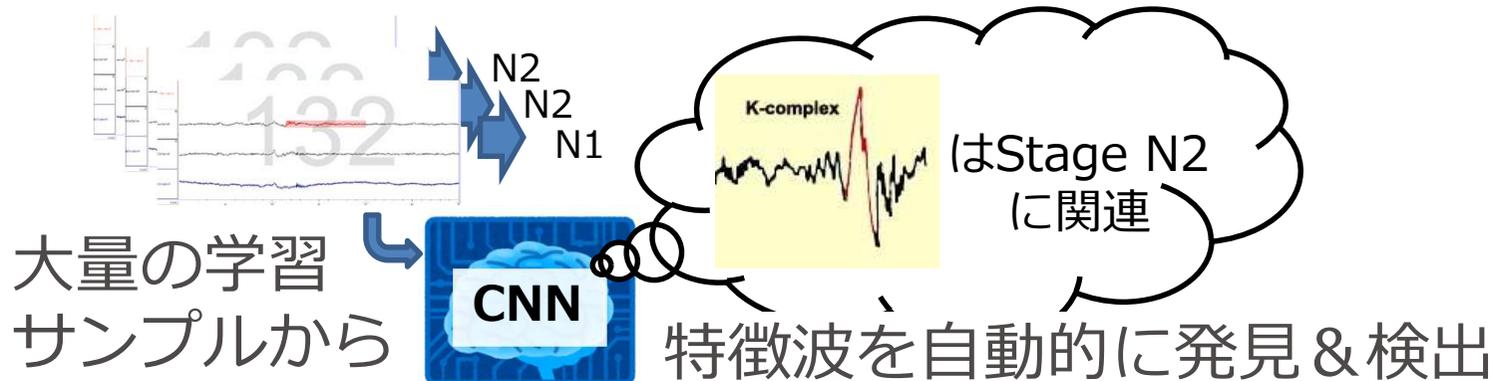
→技師間の一致率,**82.0%**を超えれば「同等」とみなせる



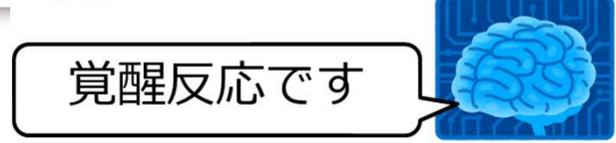
高判定一致率達成のポイントは、  
ステップ②「特徴波の検出」の再現



→**畳み込みニューラルネット (CNN)** を採用



# 達成すべき目標 2 : 根拠提示



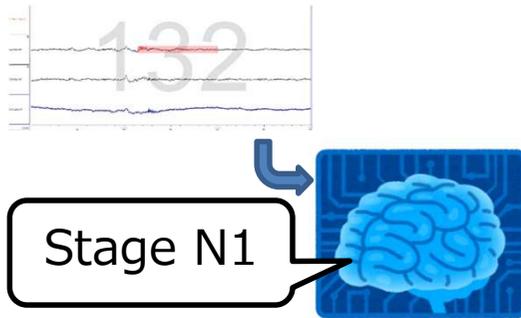
深層ニューラルネットによる判定は、  
**判定処理がブラックボックス化**してしまう。

→ 「判定が本当に正しいか」がわかりにくく信頼できない



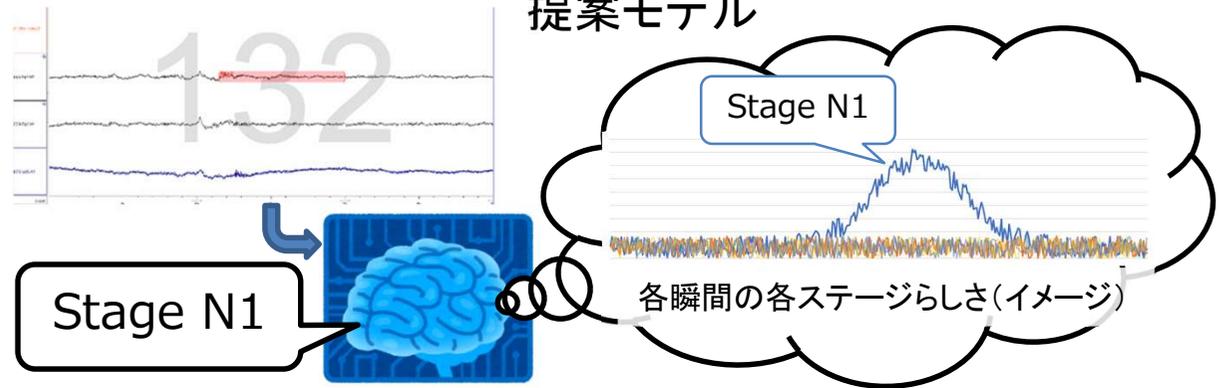
Class Activation Mappingを基にした理由提示機構を導入

通常モデル



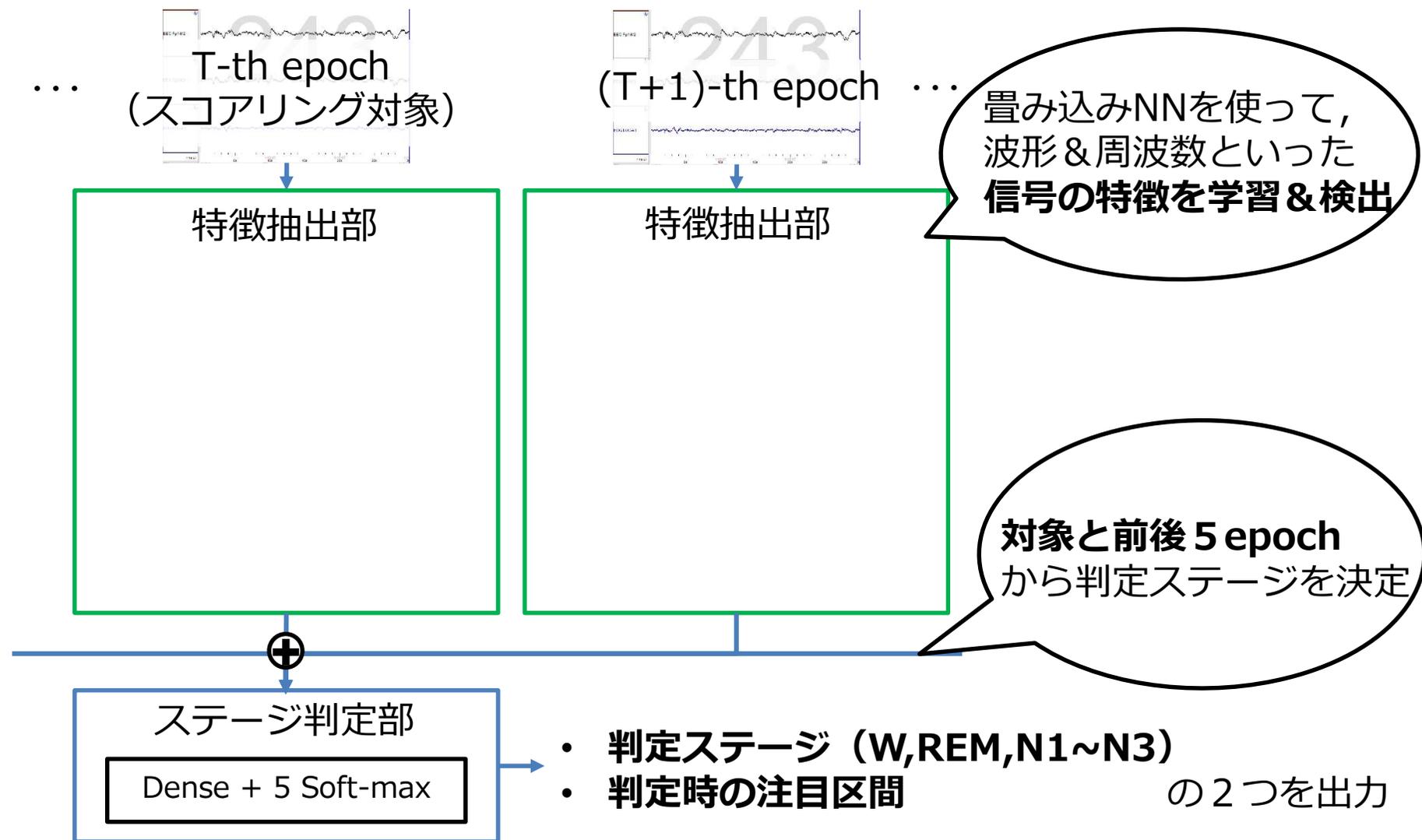
睡眠ステージを  
「直接」推定

提案モデル



各瞬間の各ステージらしさを計算 & 集約  
→ 「どこに着目して判定したか」がわかる

# 提案モデル



# 精度評価

Phase 1.5 700名分学習モデル

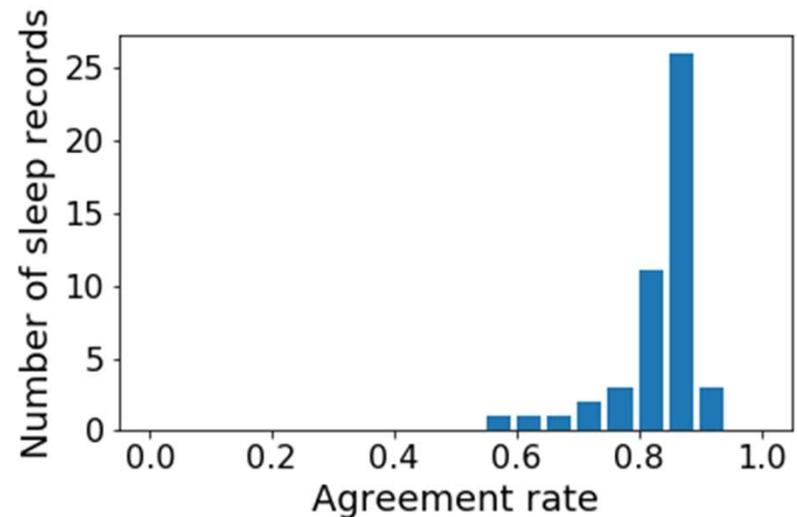
成人被験者48名 計48夜データセット

PSG技師判定との一致度 : **83.6%**

// K係数 : **0.77**

PSG技師間判定一致率  
**82.0%**を上回る  
→臨床でも有用!

Recall		Proposed model				
		W	REM	N1	N2	N3
Experts	W	89.1%	3.3%	3.0%	3.3%	1.3%
	REM	2.0%	88.2%	2.4%	7.1%	0.3%
	N1	11.5%	15.4%	36.9%	34.7%	1.4%
	N2	1.3%	2.5%	2.2%	91.9%	2.1%
	N3	0.7%	0.2%	0.2%	18.5%	80.3%



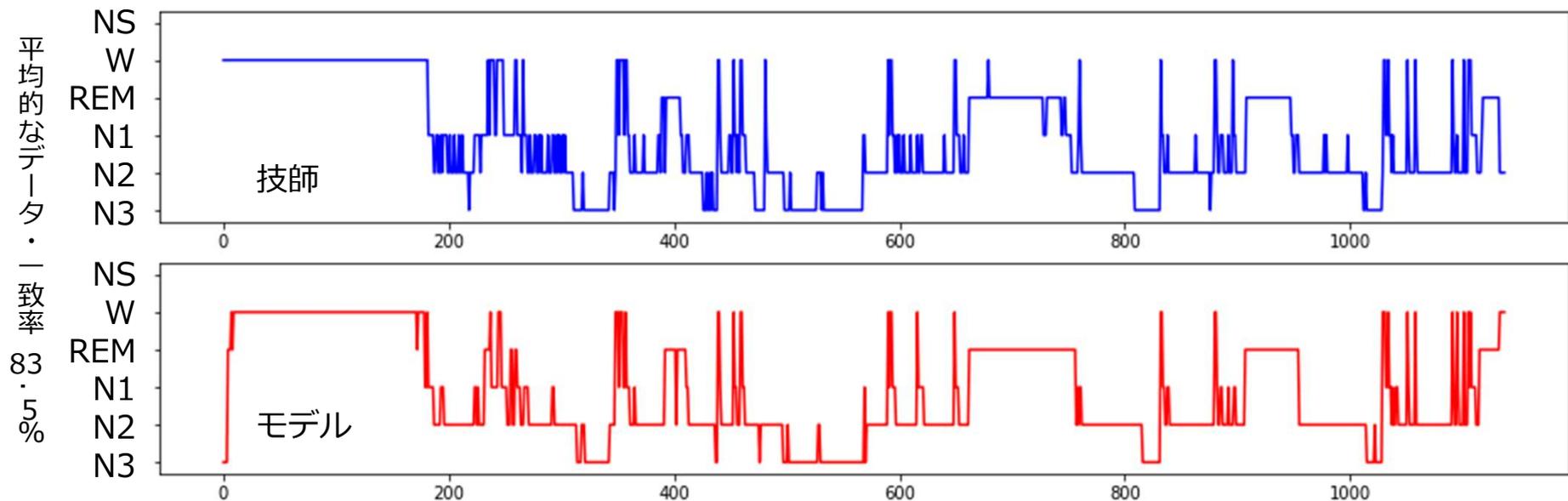
# 精度評価

Phase 1.5 700名分学習モデル  
成人被験者48名 計48夜データセット

PSG技師判定との一致度 : **83.2%**

// K係数 : **0.77**

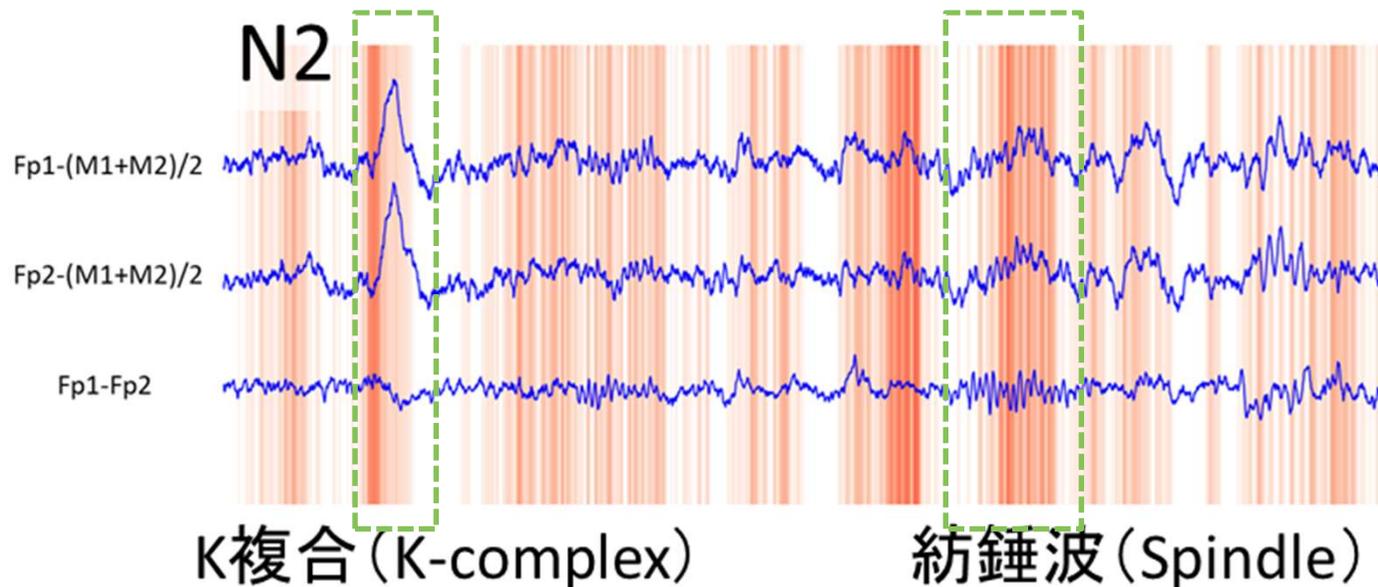
PSG技師間判定一致率  
**82.0%**を上回る  
→臨床でも有用!



# 判定理由提示の具体例

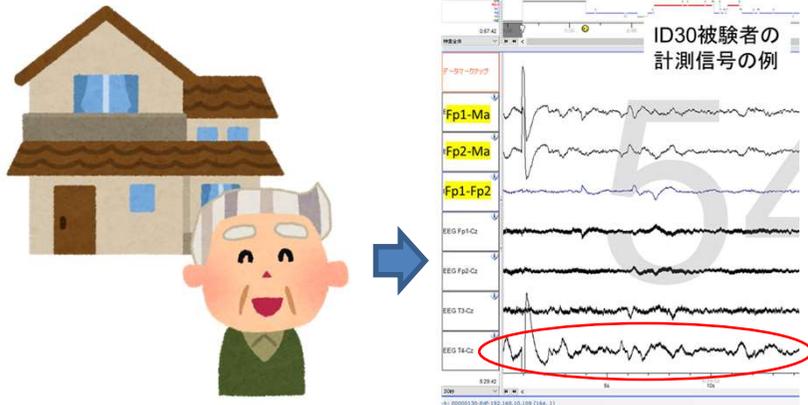
## モデルがN2と判定したエポック

オレンジ背景が判定時に注目した区間を示す。



特徴波のある区間に注目して、ステージを判定  
→ **技師判定に近い判断基準，誤判定の修正が容易に**

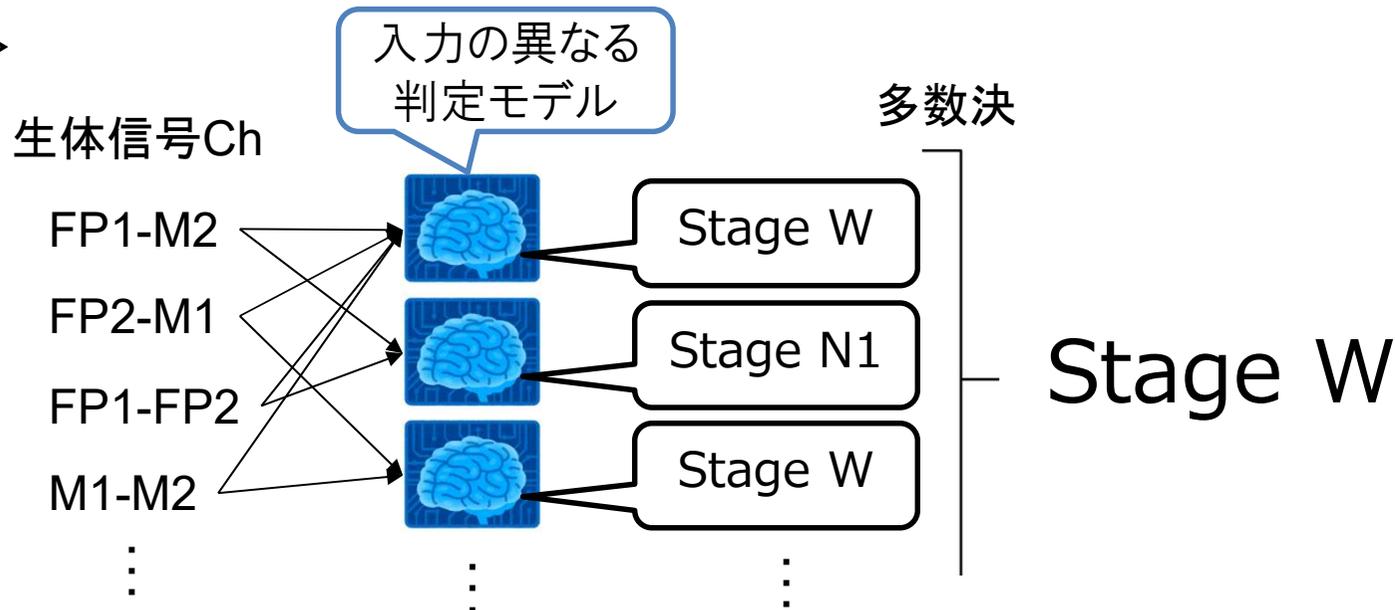
# 家庭用睡眠計のノイズ対策



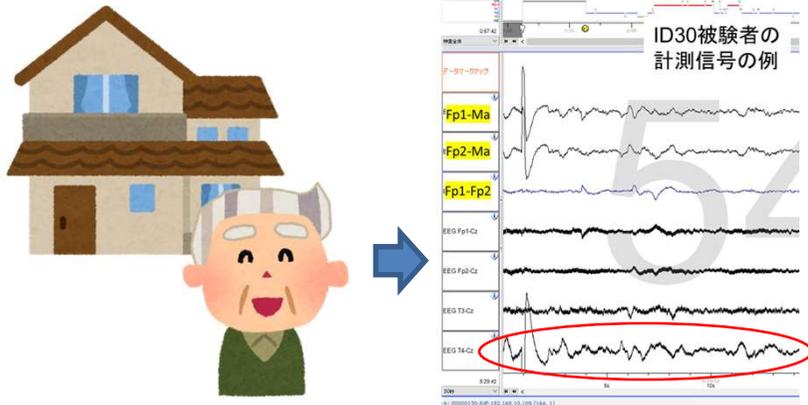
家庭内での計測の場合、  
センサ取り付け不備に由来する  
**ノイズが混入しがち**  
→ 著しい判定精度低下につながる

→ アンサンブル学習によるノイズ対策を開発中

<通常>



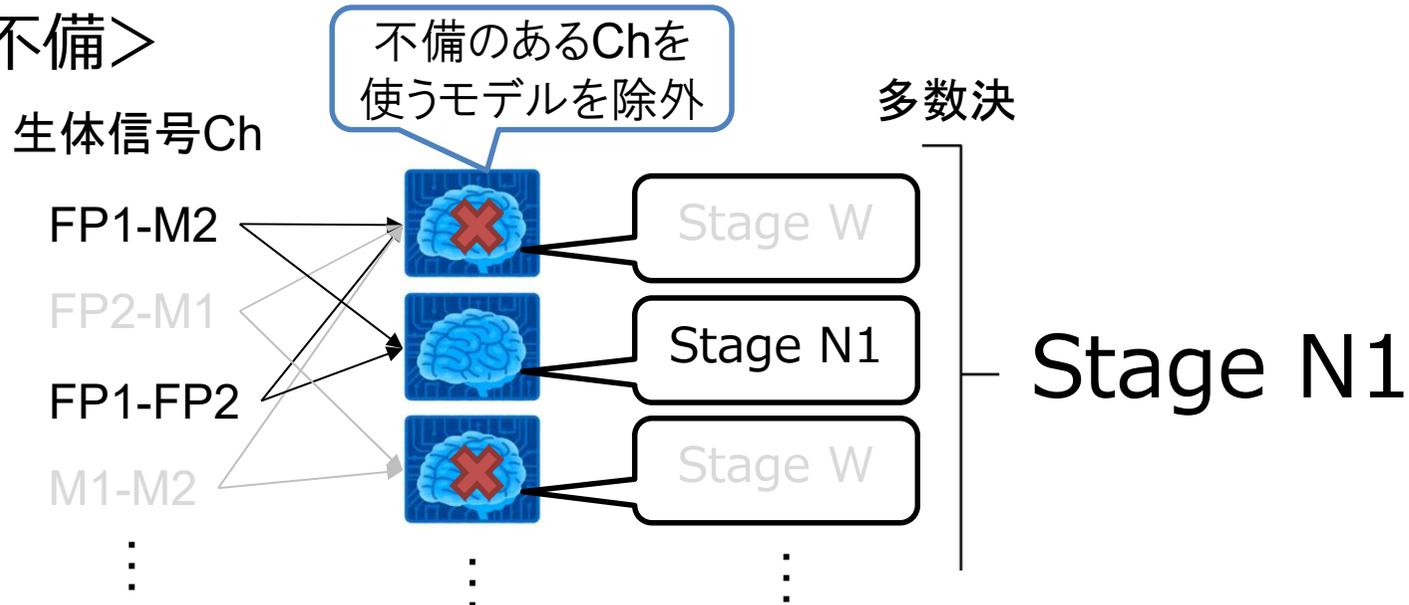
# 家庭用睡眠計のノイズ対策



家庭内での計測の場合、  
センサ取り付け不備に由来する  
**ノイズが混入しがち**  
→ 著しい判定精度低下につながる

→ アンサンブル学習によるノイズ対策を開発中

<M1に不備>



# 具体的なノイズ対策の実行例

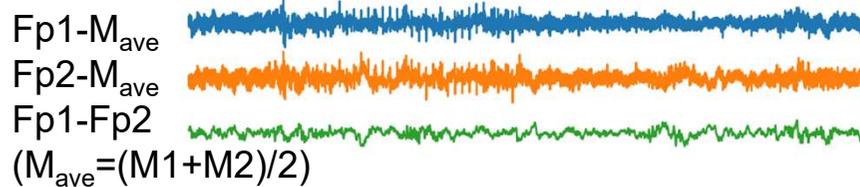
## 計測信号



← M2で電極外れ

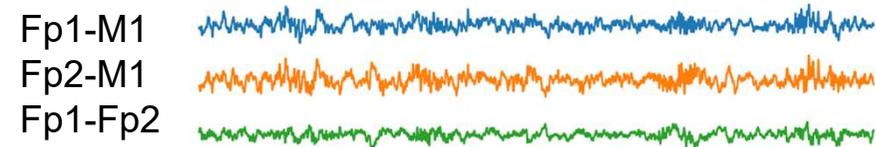
## ノイズ対策無

従来の誘導計算

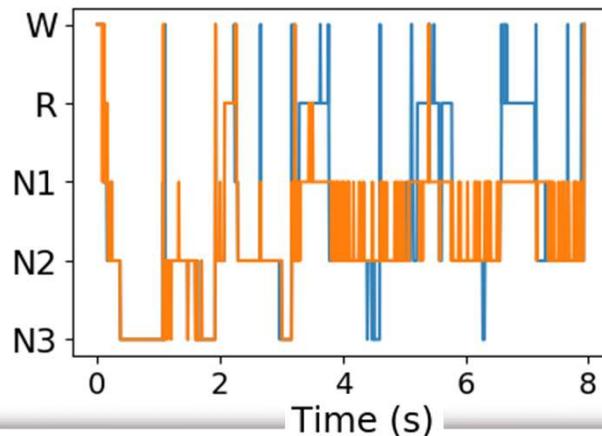


## ノイズ対策有

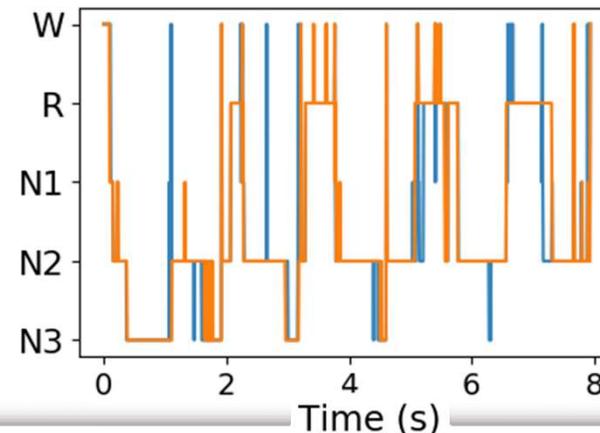
ノイズを考慮した誘導計算



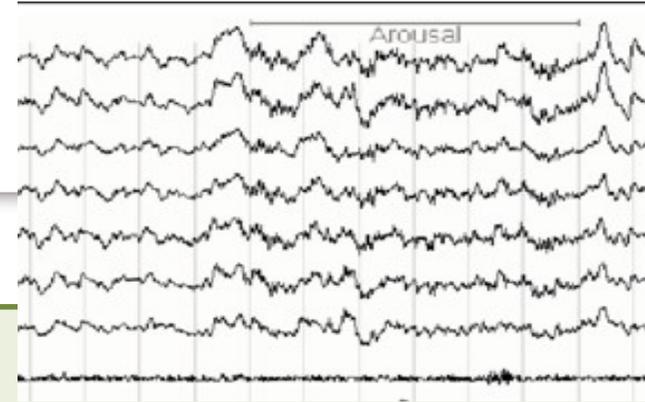
Acc: 64.2%



Acc: 89.9%



# 課題：覚醒反応の検出



## 覚醒反応

睡眠ステージが浅い方向に遷移する際に発生する  
脳波の変調(ピーク周波数が高周波に)  
睡眠の質や睡眠障害判定に利用

現行のモデルでは、

1. 特徴波検出時点では前後のステージが不明
2. 入力が生の生体信号→変調が捉えにくいことから、検出が困難.

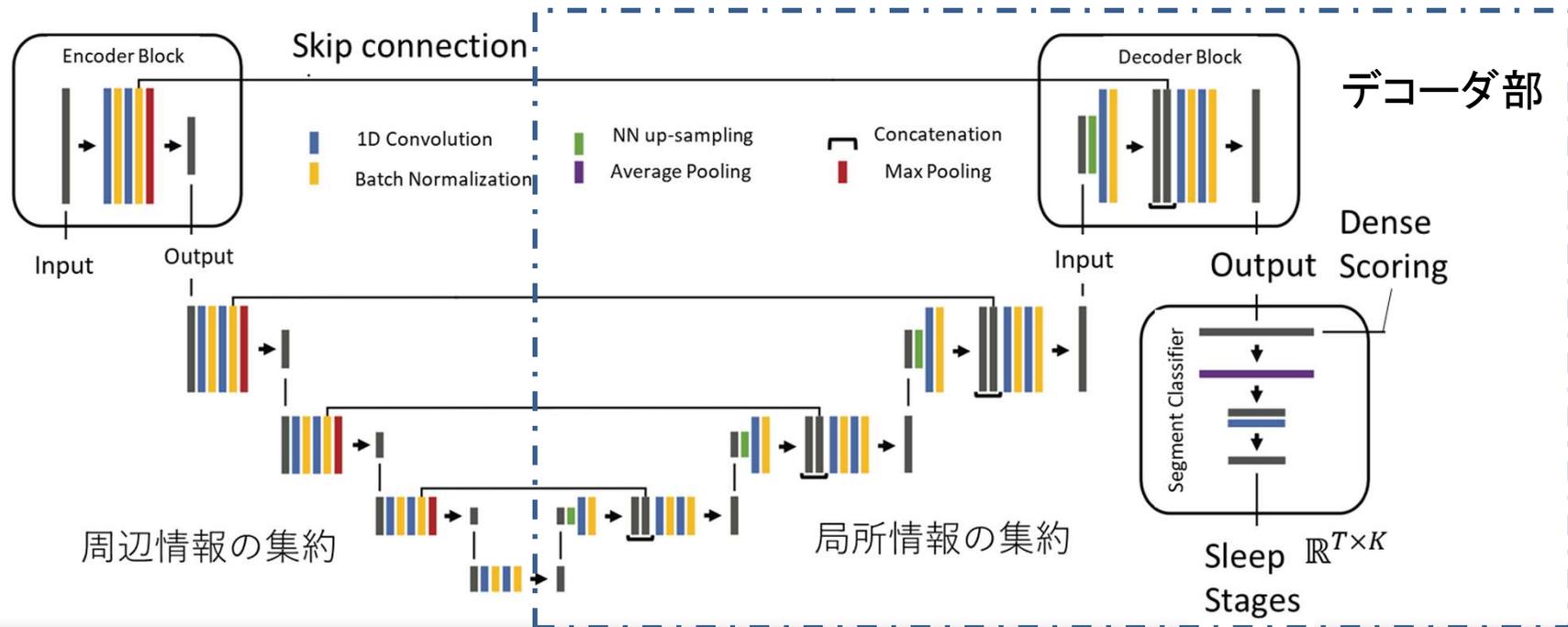
関連の強いステージN1の判定精度が低下

# 課題：覚醒反応の検出

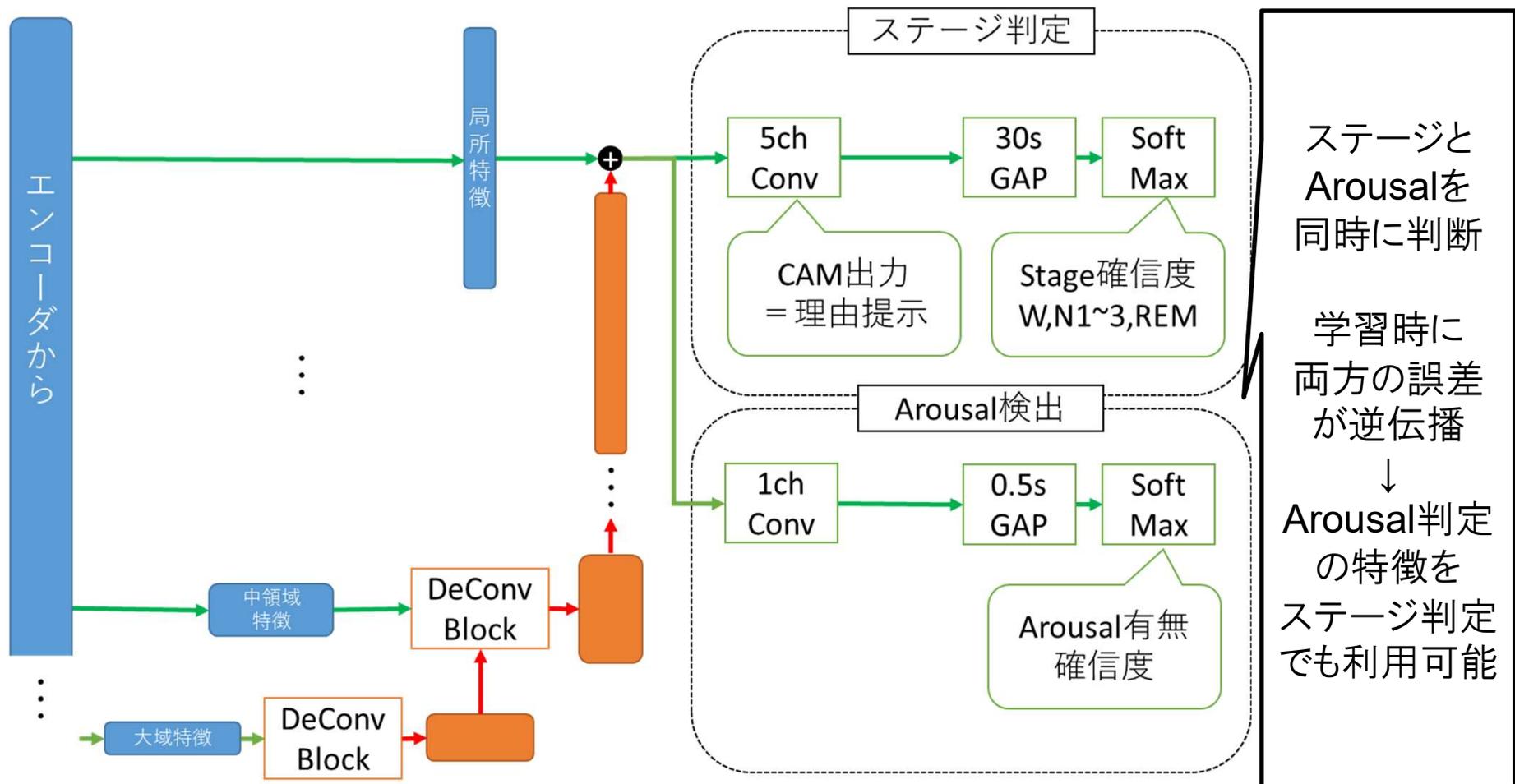
## 改善案：U-net構造の利用

元々は信号変換・画像変換の深層学習モデル

- 入力を圧縮するエンコーダ部と復元するデコーダ部
- Skip connectionで局所～大域情報すべて利用可能



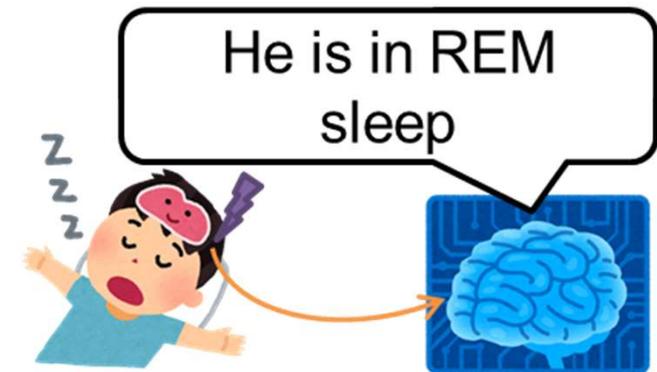
# 課題：覚醒反応の検出



# まとめ

睡眠ステージ判定の簡便化・普及を目指し、  
簡易睡眠計向け自動ステージ判定手法を開発

- 高精度(技師との判定一致率 **83.2%**)
- 判定理由提示機構を持つ
  - 医師・技師が信頼しやすい
  - 自動判定結果の検証がしやすい

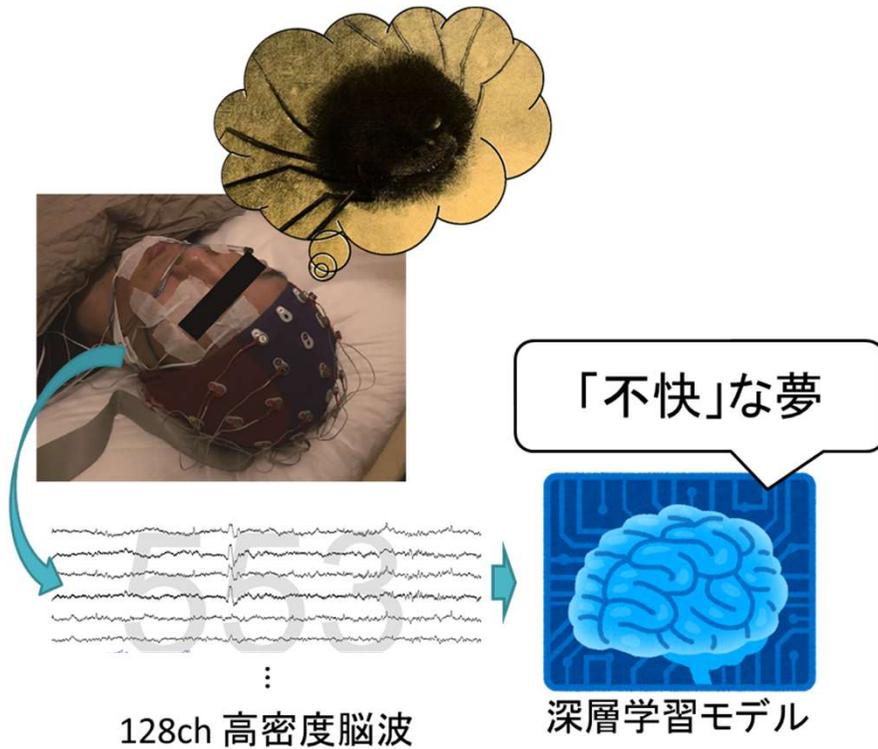
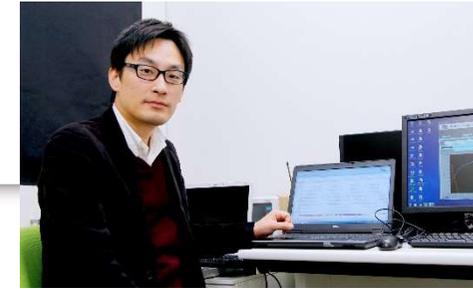


→ 臨床においても実用的な手法を開発できた。

今後はさらなる高精度化や覚醒反応検知へ

その他の研究

# 睡眠時情動判定 IIS阿部高志先生と共同



外部から客観的に「悪夢」を検知  
↓  
夢介入研究・PTSD(悪夢障害)治療

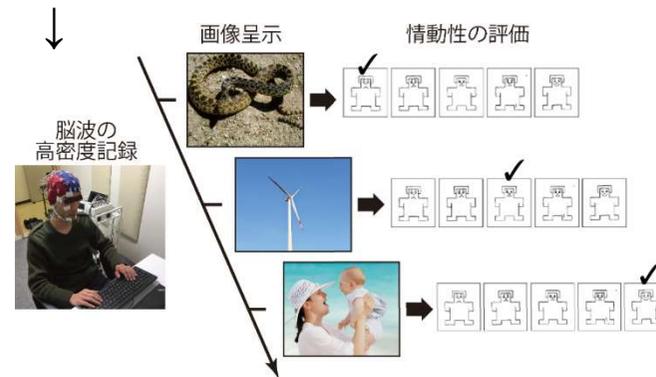


レム睡眠中に  
被験者を起こす



アンケートを通じた  
情動性評価

被験者の労力大&サンプル数が取れない

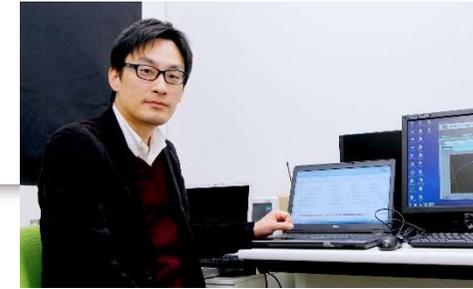


起床時情動記録は計測が簡単

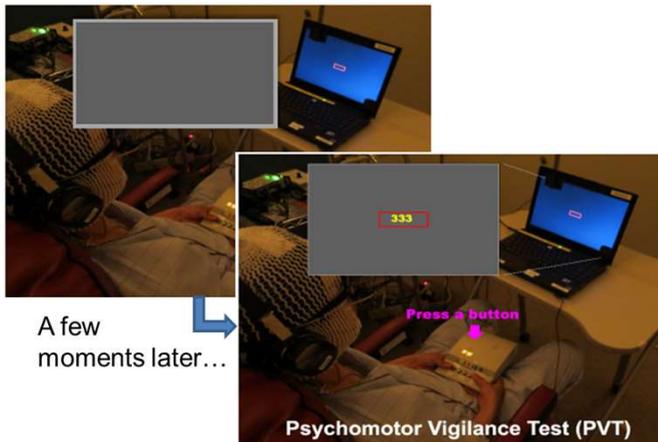
計測が簡単な起床時のサンプルを基に、  
深層学習モデルに転移学習？

# 覚醒度判定

IIIS阿部高志先生と共同



眠気は事故要因  
 覚醒度合いを計測  
 →事故防止につなげたい  
 現在の計測方法では、  
 1. 時間がかかる  
 2. 他の作業中の計測×



測定用デバイス

- 開眼/閉眼/瞬目
- 閉眼/瞬目の群発
- サッカードの相対速度
- マイクロサッカードの割合
- 開度
- 開度のばらつき
- 瞬目持続時間

眼球指標は  
 覚醒度との  
 関連大



対応関係を学習→推定・予測

従来手法よりも、  
 精度が良く、内容も詳細な判定を達成

## 精神ヴィジランス課題