

2024年12月17日@令和6年度 気候変動適応の研究会

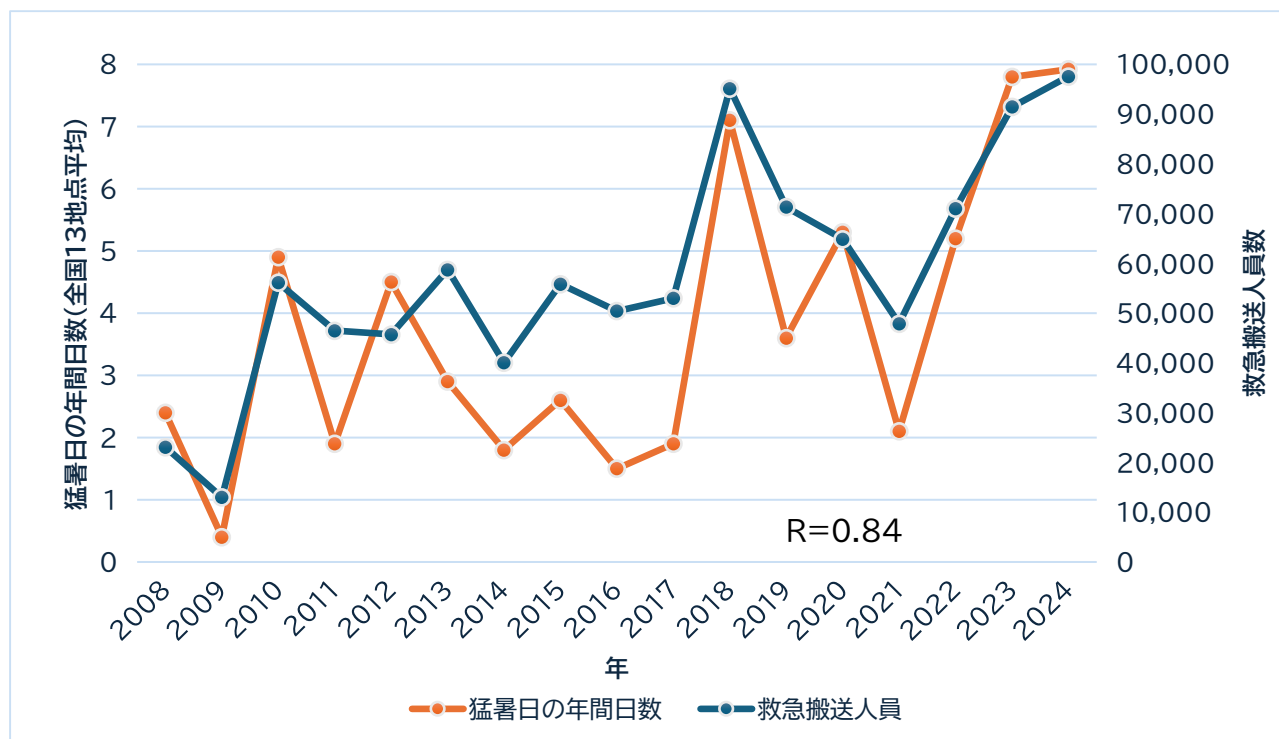
都市・時間別の暑熱環境予測に基づく 将来のスポーツ活動における適応策の検討

大山 剛弘

国立研究開発法人国立環境研究所 気候変動適応センター

背景

- 気温上昇, 猛暑日の増加に伴い, 最大10万人/年近い熱中症による救急搬送が発生
- 将来, 気温上昇と高齢化により, さらなる対策が必要に

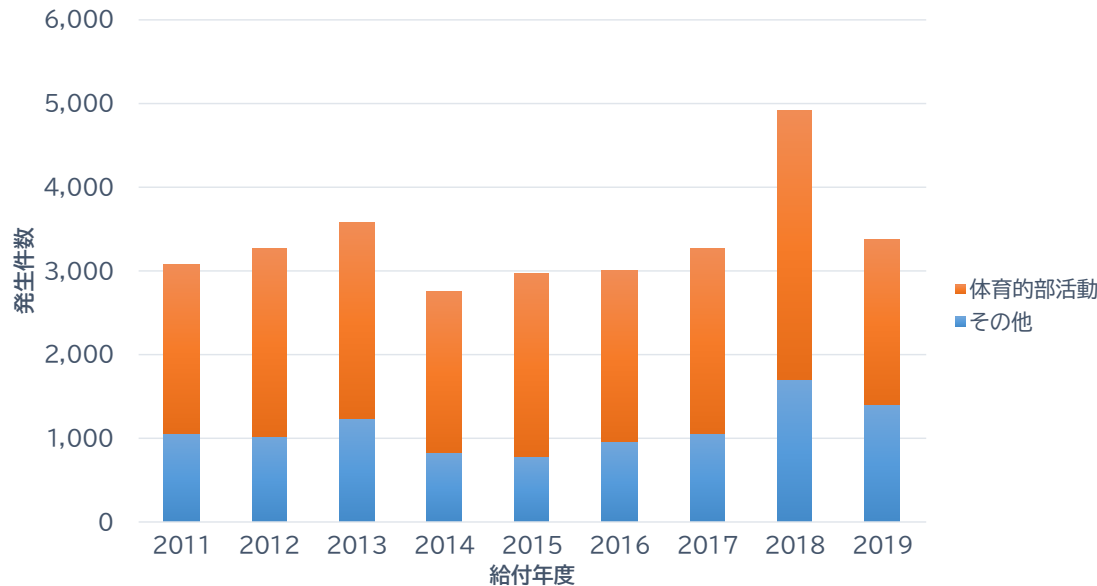


猛暑日の年間日数と救急搬送人員の推移(2008~2024年)

*1,2,3より作成. 全国13地点は, 網走, 根室, 寿都, 山形, 石巻, 伏木, 銚子, 境, 浜田, 彦根, 多度津, 名瀬, 石垣島で, 都市化の影響が比較的小さく, 長期間の観測が行われている地点が全国から選定されている.

背景

- 暑熱に脆弱な主体には、高齢者、子ども等に加えて、熱発生量が安静時の数倍に増加するスポーツ競技者も該当
- 国内で数百万人が参加する運動部活動では、年間数千件の熱中症・熱射病が発生
⇒ 将来さらなる暑熱影響が懸念



中学校・高等学校において熱中症、熱射病と診断された事例の件数^{*4}



世界陸上ドーハ大会(2019)における熱中症患者への対応

*5; 個人情報を削除

背景

- スポーツ競技者への気候変動下の暑熱影響の研究は限定的*6

課題①: 都市/時間別の暑熱データの将来予測

スポーツが開催される様々な都市/時間といった解像度では未だ整備されていない(されつつある?)

⇒ 様々な都市/時間の暑熱の効率的な予測が必要

課題②: 暑熱条件の評価基準の検証

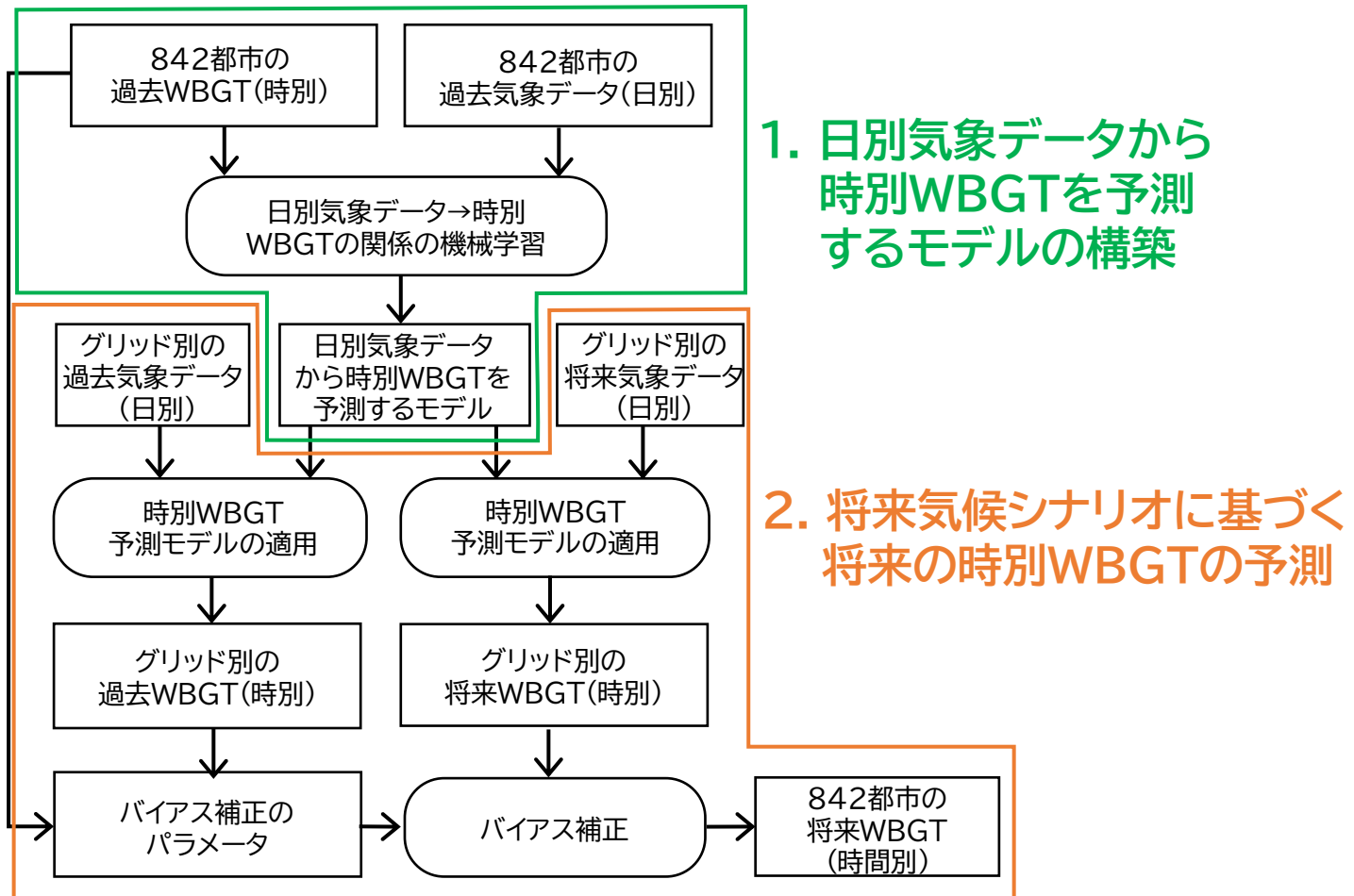
競技, 地域, 時期など考慮した評価基準は提案されていない
(例: サッカーvs卓球, 北海道vs沖縄, 5月vs8月)

⇒ 各種条件を考慮した現行暑熱基準の検証が必要

- 本発表では、**国内の運動部活動を対象とした、将来の暑熱と適応策の効果**の評価結果を紹介

手法: ①都市/時間別の暑熱データの将来予測

- 日別気象データから時別WBGTを予測するモデルを構築, CMIP6ベース将来気象予測データ(NIES2020*7)に適用し, 国内842都市の時別WBGTを予測

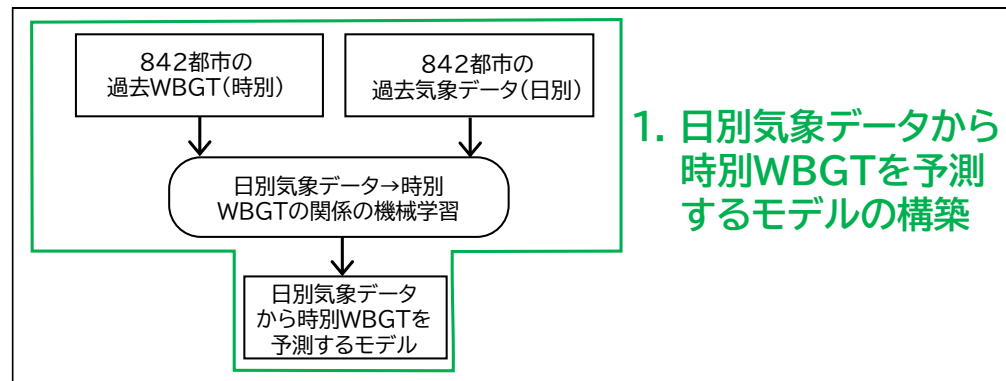


手法: ①都市/時間別の暑熱データの将来予測

- 2010-2021年の全国842都市の特別WBGT(環境省*⁸)と、対応する日別気象観測データ(気象庁*⁹, 農研機構*¹⁰)の関係の機械学習によって、特別WBGTの予測モデルを構築
- 機械学習の手法は、決定木ベースのextreme gradient boost (XGBoost) *¹¹と線形回帰の2つを使用, 結果を比較

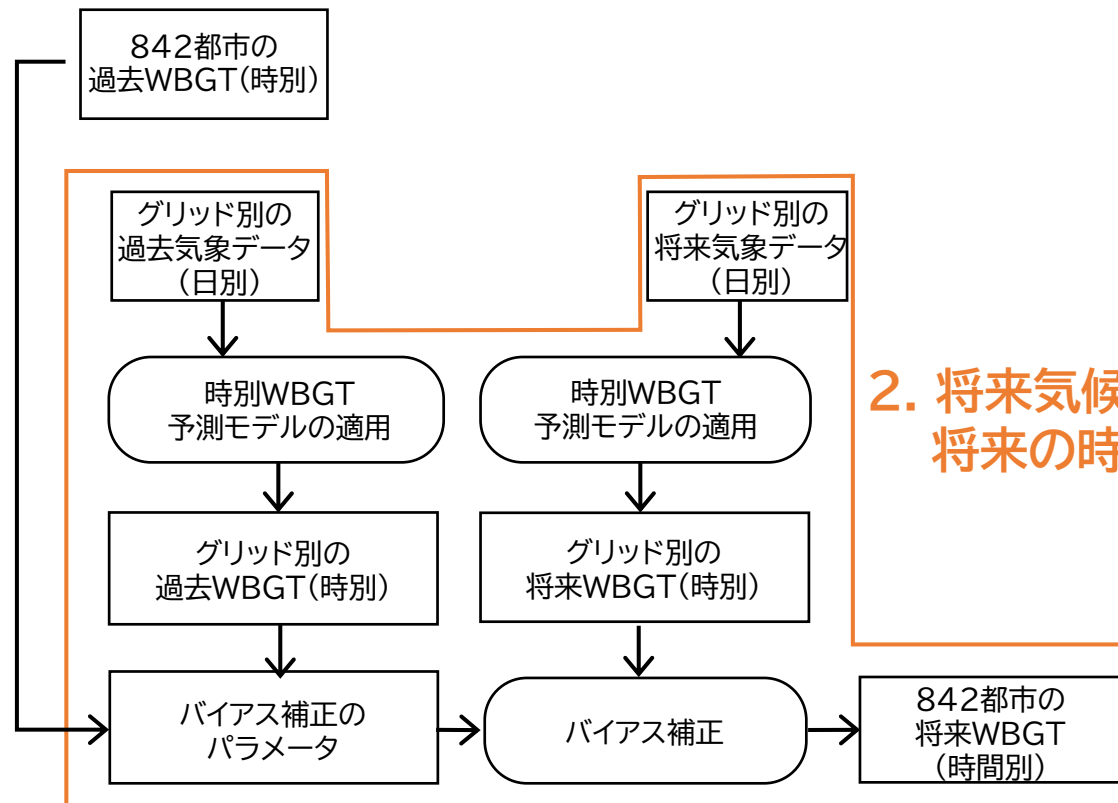
$$WBGT_{c,d,hh} = f_{hh}(x_{c,d-1}, x_{c,d}, x_{c,d+1}, \cos\theta_{c,d})$$

- ✓ $x_{c,d} = (T_{a,c,d}, T_{a(max),c,d}, T_{a(min),c,d}, RH_{c,d}, WS_{c,d}, SR_{c,d})$ で, $T_{a,c,d}, \dots, SR_{c,d}$ は都市 c , 日 d の日平均/日最高/日最低気温, 日平均湿度, 日平均風速, 日平均全天日射量. $d-1, d+1$ は日 d の1日前, 後をそれぞれ表す.
- ✓ $\cos\theta_{c,d} = (\cos\theta_{c,d,00}, \dots, \cos\theta_{c,d,23})$ で, $\theta_{d,hh}$ は日 d , 時間 hh の太陽天頂角. ただし, $\cos\theta_{d,hh}$ が負の場合は0とした.



手法: ①都市/時間別の暑熱データの将来予測

- CMIP6ベースの将来気象予測データ(NIES2020)に予測モデルを適用し, 842都市の将来WBGTを予測
- 過去気象データから予測した時別WBGTと, WBGT公表値のバイアスを特定し, 将来WBGTのバイアスを補正



手法: ②暑熱条件の評価基準の検証

- 2010～2019年に全国の中学校・高校で発生した熱中症のデータと、環境条件・活動条件に関する12変数を用いた疫学分析で、現行の暑熱基準を検証
 - 4種のWBGT値(発生時点(正時), 前日/前々日/夏季(5-10月)平均)
 - 8種の活動条件(学校, 部活動, 地域, 場所, 月, 年, 曜日, 時間)

現行暑熱基準*12

WBGT ℃	湿球温度 ℃	乾球温度 ℃	暑熱基準	対応策
31	27	35	運動は原則中止	特別の場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合には中止すべき。
28	24	31	厳重警戒 (激しい運動は中止)	熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。10～20分おきに休憩をとり水分・塩分を補給する。暑さに弱い人は運動を軽減または中止。
25	21	28	警戒 (積極的に休憩)	熱中症の危険が増すので、積極的に休憩をとり適宜、水分・塩分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休憩をとる。
21	18	24	注意 (積極的に水分補給)	熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。
			ほぼ安全 (適宜水分補給)	通常は熱中症の危険は小さいが、適宜水分・塩分の補給が必要である。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。

12の説明変数

WBGT, 学校, 部活動,
地域, 場所, 月, 年,
曜日, 時間

回帰モデル
の構築



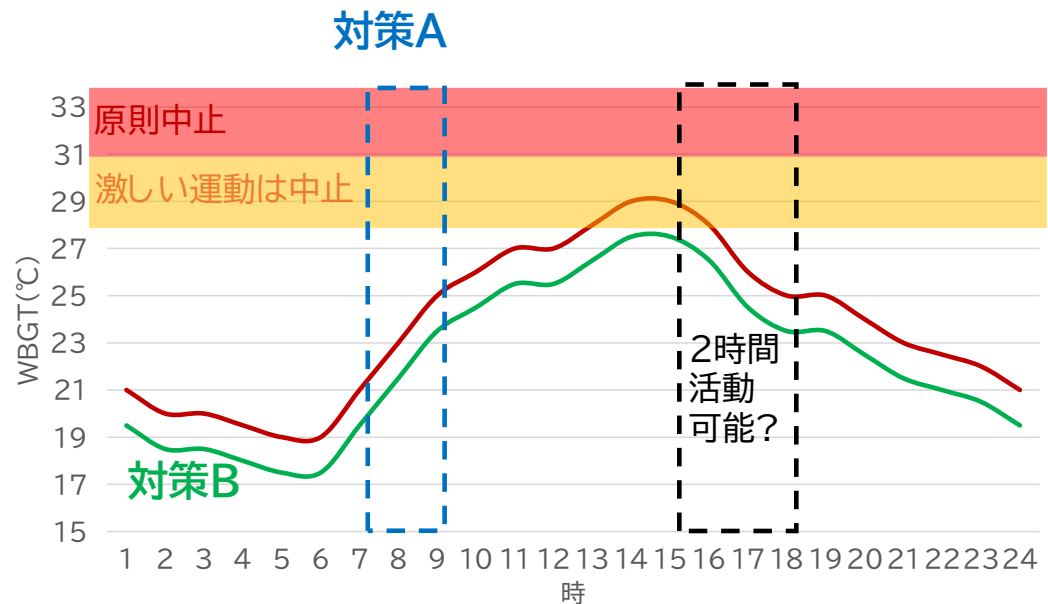
熱中症の
発生有無

手法: 運動部活動への影響と適応策の評価

- スポーツ庁(2018)の運動部活動ガイドライン*13より、「週5日、1日あたり2時間の運動部活動が放課後の15~18時」に制限を受けるかで評価
- 適応策として、運動部活動で一般的な対策から3つを設定

3つの対策

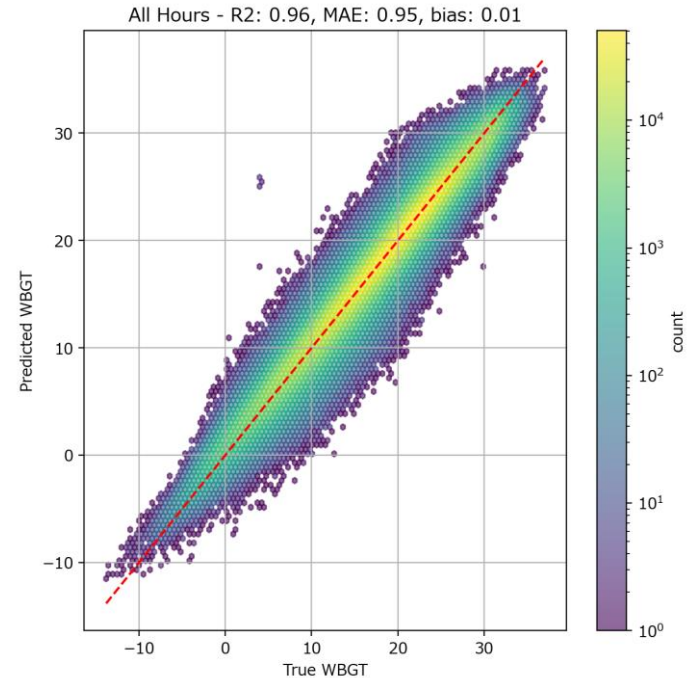
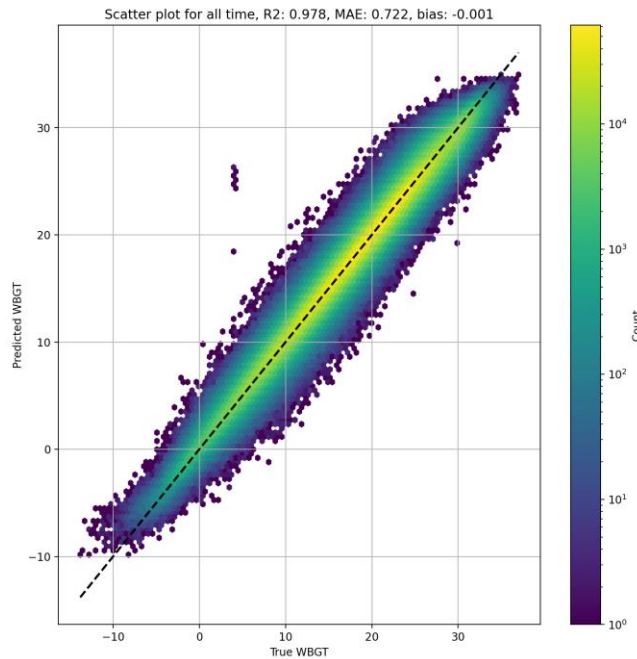
対策	実施内容
A	早朝(7時~8時台)を活動時間に含める
B	活動頻度を週5回から週3回に減らす
C	AとBを同時に実施する



評価のイメージ

結果: ①WBGT予測モデルの精度

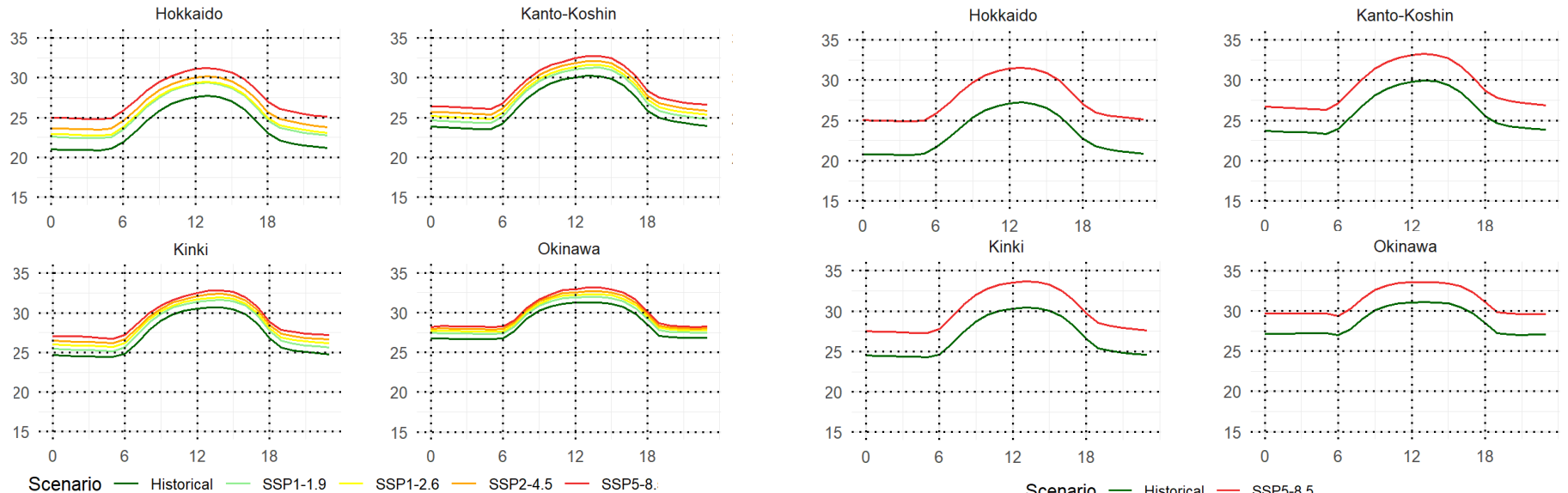
手法	XGBoost	線形回帰
全体	$R^2=0.98$, MAE=0.74(°C)	$R^2=0.96$, MAE=0.95(°C)
時間別	$R^2=0.96\sim0.99$, MAE: 0.55~0.95, RMSE: 0.8~1.3, bias: -0.005~0.002	$R^2=0.93\sim0.97$, MAE: 0.79~1.21, RMSE: 1.1~1.5, bias: 0.001~0.027



⇒両モデルとも高い精度を確認 (XGBoost>線形モデル)
✓ 環境省の時別値と比較してMAE±1°Cの範囲に

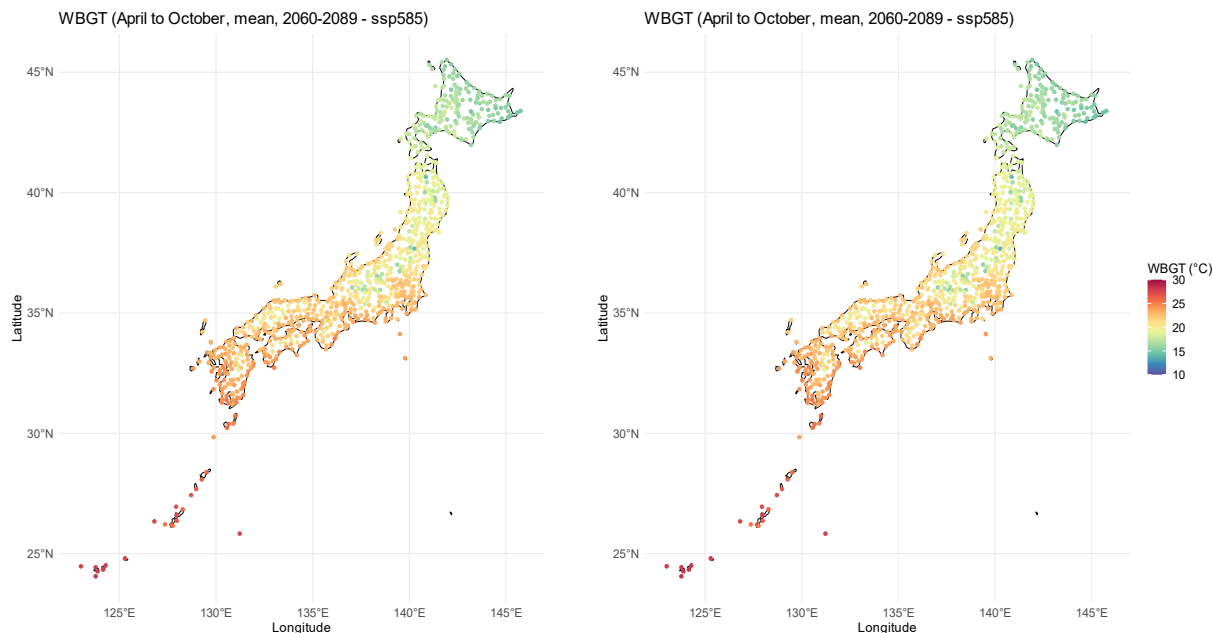
結果: ①将来の特別WBGTの予測

- NIES2020の日別気候予測データにモデルを適用し、将来の特別WBGTを、排出シナリオ、気候モデルごとに予測
 - ✓ 全球気候モデル(GCM): MIROC6, MRI-ESM2-0, ACCESS-CM2, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR
 - ✓ 排出シナリオ(SSP-RCP): SSP1-1.9/1-2.6/2-4.5/5-8.5
 - ✓ 期間: 2030~2100年
- 抽出例(下図): 2060-80年代, 8月の最高WBGT(地域/GCM平均)
 - ✓ 日内変動の傾向は類似. 元々WBGTが低い地域の上昇幅が大きい.



結果: ①将来の特別WBGTの予測

- NIES2020の日別気候予測データにモデルを適用し、将来の特別WBGTを、排出シナリオ、気候モデルごとに予測
 - ✓ 全球気候モデル(GCM): MIROC6, MRI-ESM2-0, ACCESS-CM2, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR
 - ✓ 排出シナリオ(SSP-RCP): SSP1-1.9/1-2.6/2-4.5/5-8.5
 - ✓ 期間: 2030~2100年
- 抽出例(下図): 2060-80年代, 4-10月の平均WBGT(都市/GCM平均)

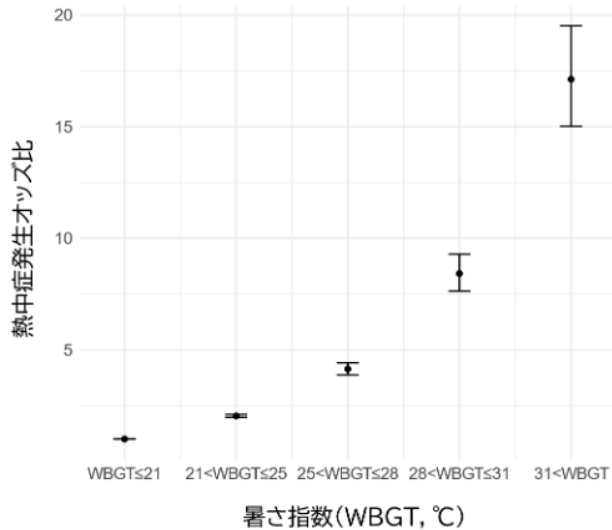


XGBoost

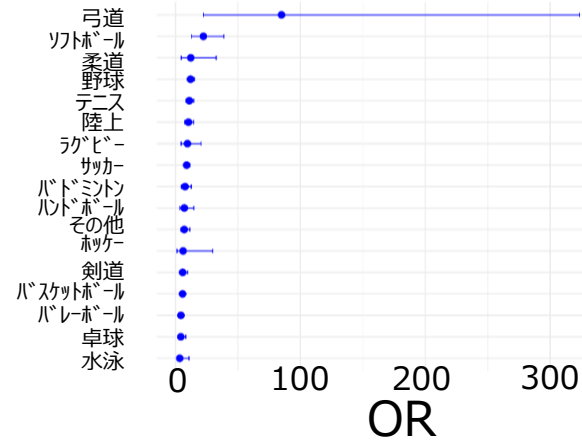
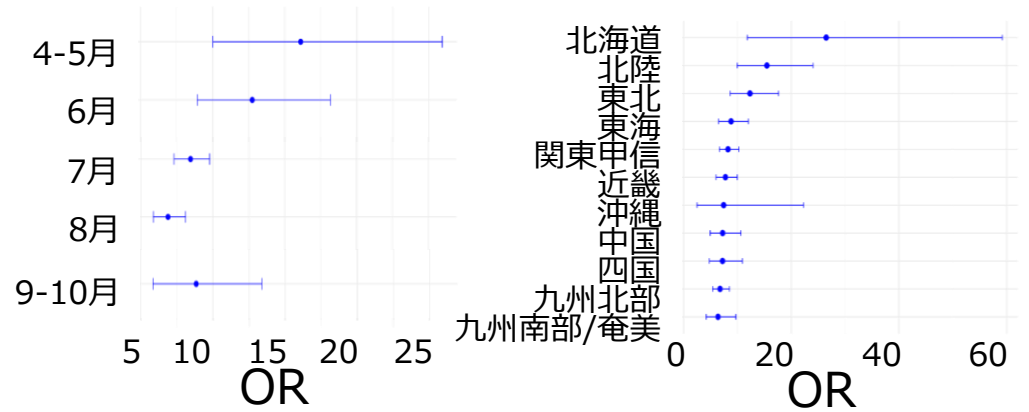
線形回帰

結果: ②暑熱条件の評価基準の検証

- WBGT: 熱中症発生時, 前日・前々日の平均値が有意に関係
- 活動条件: 部活動の種類, 地域, 場所, 年, 月, 夏季平均WBGTが有意に関係



熱中症発生時WBGT別のオッズ比*14, 15
(WBGT ≤ 21°Cのオッズ比を1とする)



月, 地域, 部活動別のオッズ比
(WBGT 28-31°C)

結果: ②暑熱条件の評価基準の検証

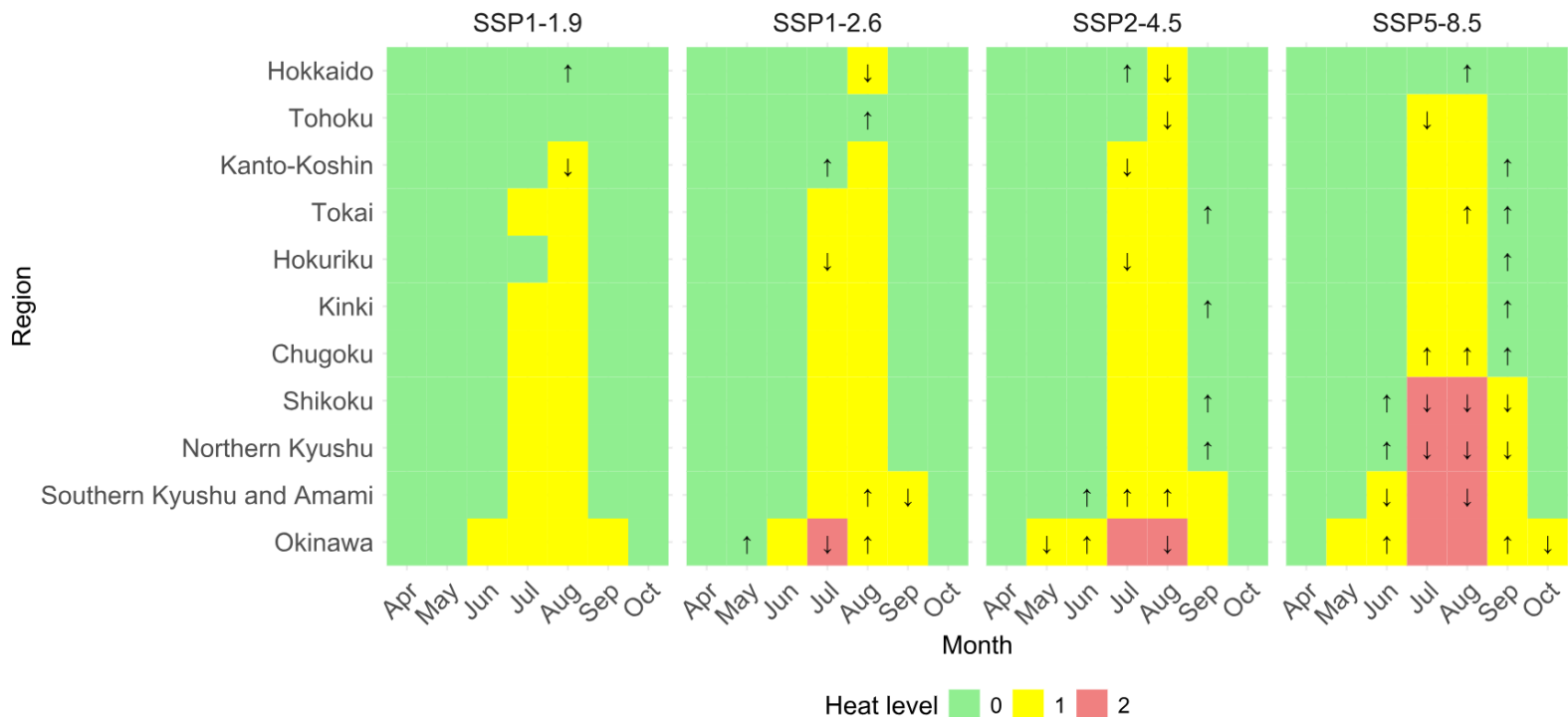
- WBGT: 熱中症発生時, 前日・前々日の平均値が有意に関係
- 活動条件: 部活動の種類, 地域, 場所, 年, 月, 夏季平均WBGTが有意に関係

層化変数	熱中症発生リスクが 他より有意に高かった層
部活動	弓道, サッカー・フットサル, ソフトボール, 野球, テニス, 陸上
夏季平均 WBGT	WBGT ≤ 18
月	4~5月, 6月
地域	北海道, 東北, 北陸
場所	運動場・校庭, 学校外運動場・競技場, 道路
年	2019

⇒暑熱基準の3℃引き下げ, クーリング実施等の対策が重要

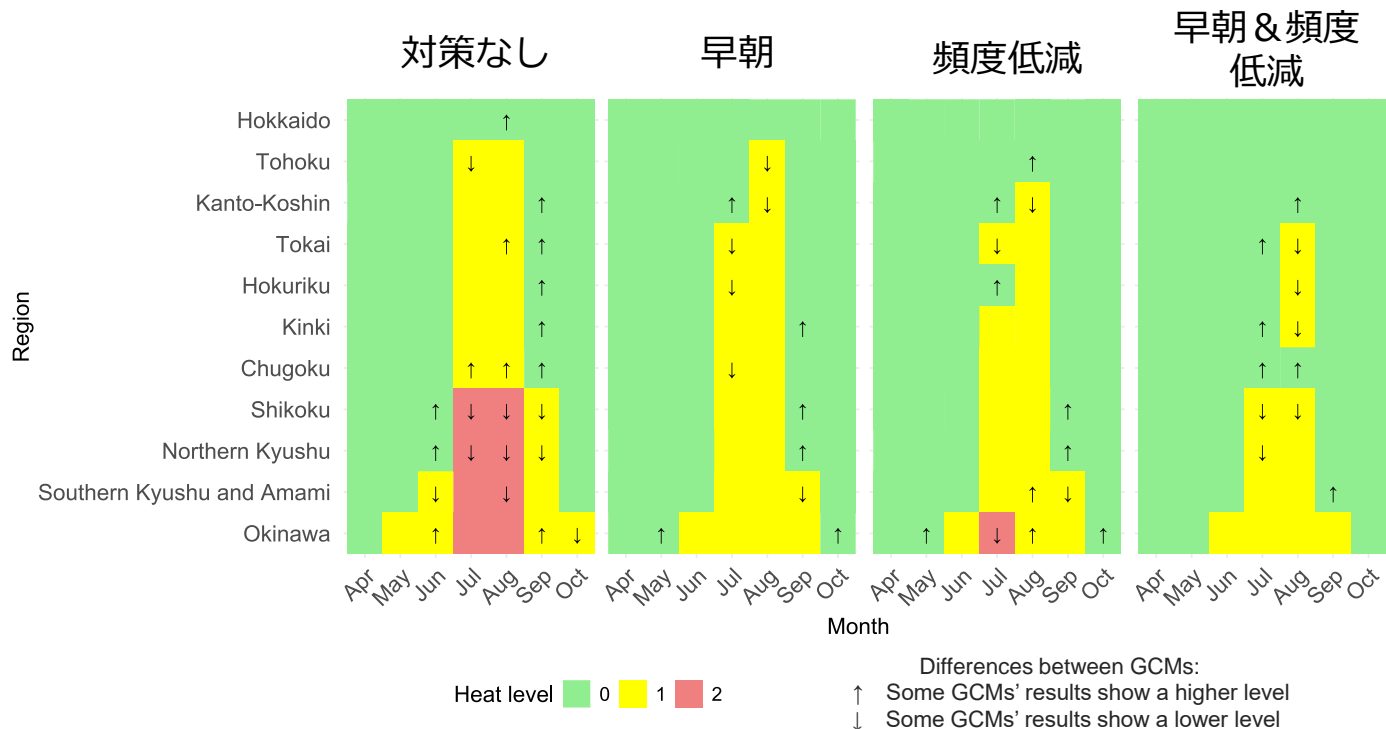
結果: 運動部活動への影響と適応策の評価

- 予測WBG Tと評価基準によって運動部活動への影響を評価
- 2060-2080年代: 多くの地域で「激しい運動は中止」, 四国・九州・沖縄では「運動は中止」基準に達する場合も
- 特定の競技, 地域, 月ではさらに危険度が上がる



結果: 運動部活動への影響と適応策の評価

- 早朝練習や屋外活動の頻度低減といった対策には一定の効果があるが, 多くの地域で影響を免れない
- 特に影響の大きい競技, 地域, 月では屋内施設整備やシーズン制導入など抜本的な対策が必要



2060-2080年代における適応策の効果*16

(SSP5-8.5, 地域/月別, GCM平均, 夏季平均WBGT18°Cの地点は調整あり)

まとめ

- 日本域気候予測結果に基づき、将来の暑熱や対策検討の基礎となる都市・時間別のWBGTデータセットを作成・公開
 - 一部(XGBoost)公開済, 順次公開予定

[トップページ](#) > 日本国内842都市を対象とした時別の湿球黒球温度 (WBGT) 将来予測データ

[Read this page in English](#)

日本国内842都市を対象とした時別の湿球黒球温度 (WBGT) 将来予測データ

データのダウンロード

本データセットには、2030年から2100年までの、日本の842都市を対象とした湿球黒球温度 (WBGT)の予測値 (時別、4~10月まで) が格納されている。予測は、機械学習手法の1つであるeXtreme Gradient Boostingを用いて、過去の時別WBGTと日別気象変数の関係を学習して構築したモデルを、日本域の将来気候シナリオデータ (NIES2020) の日別値に適用して行った。過去 (1980~2014年) 期間のデータも参考として提供する。

- 評価基準の検証を行った上で、気候変動下における運動部活動への暑熱影響と適応策の評価を実施

今後の課題

暑熱環境

- 1kmグリッド別予測(約40万>>842地点), 公開(A-PLAT)
- 土地利用や排熱条件の考慮
- 継続的な学習データの追加・更新
- 他の国・地域, 指標への適用

影響評価

- 健康・生活に係る影響評価への展開
✓ ピンときたらご活用を検討ください!

*¹⁷Oyama T, J. Takakura (2024) Future hourly wet-bulb globe temperature dataset for 842 cities in Japan, Environmental Data Initiative.
DOI:10.6073/pasta/566c72aab26f632d9d75bedd77b6926e



謝辞

本研究は、国立環境研究所「気候変動適応プログラム」、
(独)日本スポーツ振興センターの協力のもと、実施されました。
ここに感謝の意を表します。

参考文献

1. 気象庁.大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化.
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html. 2024年11月15日閲覧.
2. 気象庁. 2024年の猛暑日・真夏日などの日数.
https://www.data.jma.go.jp/stats/stat/202415/tem_ctg_days_202415.html. 2024年11月15日閲覧.
3. 総務省消防庁.令和6年(5月~9月)の熱中症による救急搬送状況.
<https://www.fdma.go.jp/pressrelease/houdou/items/5e1477ede39c740a0a3a6f51c5b4d964e1a98c52.pdf>. 2024年11月15日閲覧.
4. 日本スポーツ振興センター, 医療費提供データ.
5. World Athletics. The Doha Experience : Lessons learned DOHA 2019. In: IIRM-World Athletics 2022 Endurance Medicine Conference Series: Boston. 2022. 1-11.
6. Dingle G, Mallen C, editors. Sport and Environmental Sustainability. Routledge 2020.
doi:10.4324/9781003003694
7. N. Ishizaki, Bias corrected climate scenarios over Japan based on CDFDM method using CMIP6, Ver.1.2, (2021). <https://doi.org/10.17595/20210501.001>.
8. Ministry of the Environment, Heat Illness Prevention Information, (n.d.).
<https://www.wbgt.env.go.jp/en/> (accessed July 31, 2024).
9. Japan Meteorological Agency, The Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) (in Japanese), (2024). <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html> (accessed May 10, 2024).
10. National Agriculture and Food Research Organization, The Agro-Meteorological Grid Square Data, (n.d.). https://amu.rd.naro.go.jp/wiki_open/doku.php?id=start2 (accessed March 1, 2024).
11. T. Chen, C. Guestrin, XGBoost: A scalable tree boosting system, in: Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Association for Computing Machinery, 2016: pp. 785-794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>.

参考文献

12. Japan Sport Association. スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック. Fifth Edit. Japan Sport Association 2019.
13. スポーツ庁. 運動部活動の在り方に関する総合的なガイドライン. 2018.
14. Oyama, T., Honda, Y., Fujii, M. et al. Proposing adjustments to heat safety thresholds for junior high and high school sports clubs in Japan. Int J Biometeorol (2024). <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02812-4>
15. 国立環境研究所, 運動部活動における状況に応じた熱中症対策の重要性 一暑さ指数(WBGT), 部活動の種類, 時期, 地域, 活動場所を考慮して一, 2024, <https://www.nies.go.jp/whatsnew/2024/20241119/20241119.html>. 2024年12月1日閲覧.
16. Takahiro Oyama, Jun'ya Takakura, Yuri Hosokawa et al. Heat impacts on school sports club activities in Japan under climate change and the effectiveness of countermeasures, 25 September 2024, PREPRINT (Version 1) available at Research Square [https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5103411/v1]
17. Oyama T, J. Takakura (2024) Future hourly wet-bulb globe temperature dataset for 842 cities in Japan, Environmental Data Initiative. DOI:10.6073/pasta/566c72aab26f632d9d75bedd77b6926e