

総説

## 能城修一<sup>1</sup>：4.2 ka イベントにより生じた世界各地の 気候変動と人々の生活環境に与えた影響

Shuichi Noshiro<sup>1</sup>: Impacts of the 4.2 ka event on the climatic environment  
and people's life styles of the world

**要旨** 最終氷期の後、約1.2万年前に始まった後氷期の完新世にも大きな気候変動が存在し、現在、約8220–8060年前に起こった8.2 ka イベントと約4300–3890年前に起こった4.2 ka イベントを区切りとして、完新世は前期と中期、後期に区分されている。とくに4.2 ka イベントは人類社会がある程度発展してから起こった環境変動であるため、文明の崩壊や断絶といった点で注目されてきた。本論では、まず8.2 ka イベントと4.2 ka イベントの完新世における位置付けを記述した後で、4.2 ka イベントが世界の人類社会に及ぼした影響を概観し、ついで中国大陸での状況をやや詳細に検討する。中国大陸では、この時期の気候変動により、北西部では4.2 ka イベントを契機として新石器文明から青銅器文明へと継続し、南東部では新石器文明の後、青銅器文明への継続はなかったとされており、小麦・大麦や家畜のユーラシア大陸西部から北西部への導入との関連が議論されている。こうした海外での研究に比較して、日本列島周辺での4.2 ka イベントの検討は陸上ではごくわずかであり、琉球列島周辺を中心とした海域で、この時期の環境変動が検討されているにすぎない。4.2 ka イベントにおける気候変動は、現在、多数のプロキシ・データを総覧した解析が行われており、このイベントの実態について様々な議論が展開されている。

キーワード：海洋、気候変動、人類社会、農耕、遊牧

**Abstract** Many climatic events occurred even during the Holocene that began with the end of the last glacial period. The Holocene is now divided into three subepochs using the 8.2 ka event that occurred in 8220–8060 yr BP and the 4.2 ka event that occurred in 4300–3890 yr BP as their boundaries. Because the 4.2 ka event occurred when human societies developed at various places in Eurasia, it had a great impact on those societies. Especially in China where many studies have been carried about the impact of the 4.2 ka event, societies changed smoothly from Neolithic to Bronze cultures in the north to western part with the introduction of wheat, barley, and domestic animals from western Eurasia, but not in the southeastern part. Contrary to many studies carried in Eurasia, few studies have been carried out about the impact of the 4.2 ka event in Japan, especially in inland areas, and most studies are done about the oceanic environmental changes along the Kuroshio current. Comprehensive studies based on multiple proxies through the 4.2 ka event are now being carried out, and, based on the analytical results, the cause and impact of the event is variously debated.

**Keywords:** agriculture, climatic events, human society, nomadism, ocean

### 1. はじめに

最終氷期の終末にあたる晩氷期には、急激に温暖化して2000年ほど継続したベーリング・アレード期とその後に再び寒冷化して1000年ほど継続したヤンガー・ドリラス期といった大きな気候変動があった。最終氷期が終わった後の後氷期である完新世には晩氷期に起こったほどの気候変動は認められていないが、太陽活動の変化とともに気候変動が1500年単位で繰り返されたことは、北大西洋堆積物の分析から、海水を伴った寒冷な海水が南下するボンド・イベントとして早くから認識されていた (Bond et al., 1997, 2001)。その後、世界の50地点のプロキシ・データを対比した Mayewski et al. (2004) は、そうした気候変

動が、極域の寒冷化や熱帯域の乾燥化、大気循環の大変動とともに完新世には6回あったと提示した。4.2 ka イベントはこうした完新世に起こった大きな気候変動の一つであり、完新世でもっとも温暖な時期の後に生じた寒冷化イベントとして注目されてきた。現在、このイベントは完新世の時期区分の基準となる境界の一つとされるほか、人間社会への影響も世界各地で検討されてきている。本論では4.2 ka イベントにおける地球環境の変動と人間社会への影響を中心にして最新の研究成果を概観する。最初にその前提として、完新世の時期区分ともう一つの寒冷化イベントである8.2 ka イベントについて概要を紹介する。なお、現在、氷床コアを用いた研究では西暦2000年を基準とした

<sup>1</sup> 〒101-0064 東京都千代田区神田猿樂町1-6-3 明治大学黒耀石研究センター

Center for Obsidian and Lithic Studies, Kanda-sarugaku-cho 1-6-3, Chiyoda, Tokyo 101-0064, Japan

責任著者 (Corresponding author) : 能城修一 (S. Noshiro), e-mail: noshiro@meiji.ac.jp



年代 (years before A.D. 2000 ; yr b2k) を用いるのが標準となっているが、本論では、引用するほとんどの文献と同様に西暦 1950 年を基準とした放射性炭素年代 (yr BP) あるいは暦年較正年代 (cal BP) を用いる。

## 2. 完新世の新区分と 8.2 ka イベント・4.2 ka イベント

完新世は、2018 年 7 月に国際地質科学連合 (IUGS) の国際層序委員会 (ICS) によって、前期、中期、後期の三つに区分された (平林・横山, 2020 ; Walker et al., 2018, 2019)。区分にあたっては、基準となる国際境界模式層断面とポイント (Global Boundary Stratotype Section and Point: GSSP) が選定され、その地名に基づいて、前期はグリーンランディアン期 (Greenlandian Age)、中期はノースグリッピアン期 (Northgrippian Age)、後期はメガラヤン期 (Meghalayan Age) と呼ばれることになった。グリーンランディアン期とノースグリッピアン期の開始はいずれもグリーンランド氷床コアプロジェクト (NGRIP) によって中央グリーンランドで採取されたグリーンランドの氷床コアに基づいて設定され (Rasmussen et al., 2006; Vinther et al., 2006 など)、グリーンランディアン期は NGRIP2 の深度 1492.45 m が、ノースグリッピアン期は NGRIP1 の 1228.67 m が基準とされた。これに対し、メガラヤン期はインド北東部メガラヤ州のモームルー洞窟 (Mawmluh Cave) の KM-A 石筍が基準とされた。これらの基準点の層準には大きな変動が記録されていて、気候環境の変動を反映したものと解釈されている。完新世の開始時点であるグリーンランディアン期の開始期には、NGRIP2 で水の動的分別指標 (D-excess ; 植村, 2007) が大きく変動し、ダストが減少する点から水循環に大きな変動があったとされ (Johnsen et al., 2001; Steffensen et al., 2008)、その時期は、年代測定値の誤差も考慮して 11,650 yr BP とされている (Walker et al., 2018, 2019)。完新世中期のノースグリッピアン期の開始期には、NGRIP1 の酸素安定同位体比と水の安定同位体比 ( $\delta D$ ) が急減し、急激な寒冷化があったとされ (Rasmussen et al., 2007; Masson-Delmotte et al., 2005)、その時期はグリーンランドの 3 本の氷床コアをもとに 8186 yr BP とされている (Walker et al., 2018, 2019)。完新世後期のメガラヤン期の開始期には、モームルー洞窟の石筍の酸素安定同位体比は 1.5% 低下し、モンスーン期の降水量が 20–30% 減少したとされ (Berkelhammer et al., 2012)、その時期は、年代測定値の誤差も考慮して、4200 yr BP とされている (Walker et al., 2018, 2019)。

このように完新世はその間に起こった二つの大きな気候変動で区分されており、その変動は年代値からそれぞれ 8.2 ka イベントと 4.2 ka イベントと呼ばれている (Walker et al., 2018, 2019 ; 平林・横山, 2020)。

イベントは、ローレンタイド氷床の氷河湖であったアガシ・オジブウェイ Agasiiz-Ojibway 湖が、ハドソン湾にあった氷床の残渣 (Hudson Bay Ice Saddle: HBIS) を壊してラブラドル海に氷とともに流下し、大西洋子午面循環 (Atlantic Meridional Overturn Circulation: AMOC) が弱化した結果、引き起こされたと考えられている (Alley & Ágústssdóttir, 2005; Barber et al., 1999; Hoffman et al., 2012; Kleiven et al., 2008; Morrill et al., 2014; Rush et al., 2023)。しかしこの決壊のみでは寒冷期が古気候記録ほどの期間にわたって維持されないため (Matero et al., 2017 など)、ハドソン湾を経由する淡水流入をはじめとして他の要因も現在検討されている (Carlson et al., 2008, 2009; Gregoire et al., 2012 など)。この時期に気候変動が起こったことは、すでに中国南部のドンゲ洞窟で解析された石筍の酸素安定同位体比の増加がボンド・イベント (Bond et al., 1997) に対応することから指摘されており、中国大陸では夏季モンスーンが明瞭に弱化した時期とされていた (Wang et al., 2005)。模式地であるグリーンランドでは、4 本の氷床コアの変動を対比して、8.2 ka イベントは 8247 yr BP から 8086 yr BP までの約 160 年間継続し、最寒冷期は 69 年間であったと報告されていた (Thomas et al., 2007)。その後、南アメリカや中近東 (Cheng et al., 2009) をはじめとして世界各地でこの時期の変動が認められ、現在、世界の 275 地点の洞窟生成物のうち 70% 以上に変動が認められている (Parker & Harrison, 2022)。その中央値によると、8.2 ka イベントは  $8223 \pm 12$  yr BP に始まり、 $8062 \pm 14$  yr BP に終わり、 $159 \pm 11$  年間続いたとされている。Walker et al. (2018, 2019) は 8.2 ka イベントを約 8250–8090 年前としているが、本論では Parker & Harrison (2022) にしたがって約 8220–8060 年前と捉えておく。小林 (2017, 2019) による関東地方の土器型式の年代値に対比すると、8.2 ka イベントは縄文時代早期後葉の鶴ヶ島台式期に相当する。8.2 ka イベントにおける気候変動の様相は大西洋の北部でもっとも顕著であり、その両岸で寒冷化が認められるほか、北半球の熱帯から中緯度域は乾燥し、北半球のより高緯度の地域と南半球では一般的に湿潤となった (Morrill et al., 2013)。また人間社会への影響もメソポタミアから地中海東部で報告されており (Roffet-Salque et al., 2018; van der Plicht et al., 2011; Weninger et al., 2006)、日本列島でも南九州で検討されている (Uchiyama et al., 2025)。

8.2 ka イベントは大西洋北部周辺で起こった氷河の後退を主要な要因として起こったのに対し、4.2 ka イベントの要因はまったく解明されていない (平林・横山, 2020 ; Walker et al., 2018, 2019)。要因としては、エルニーニョ・南方振動 (El Niño-Southern Oscillation: ENSO) の増大

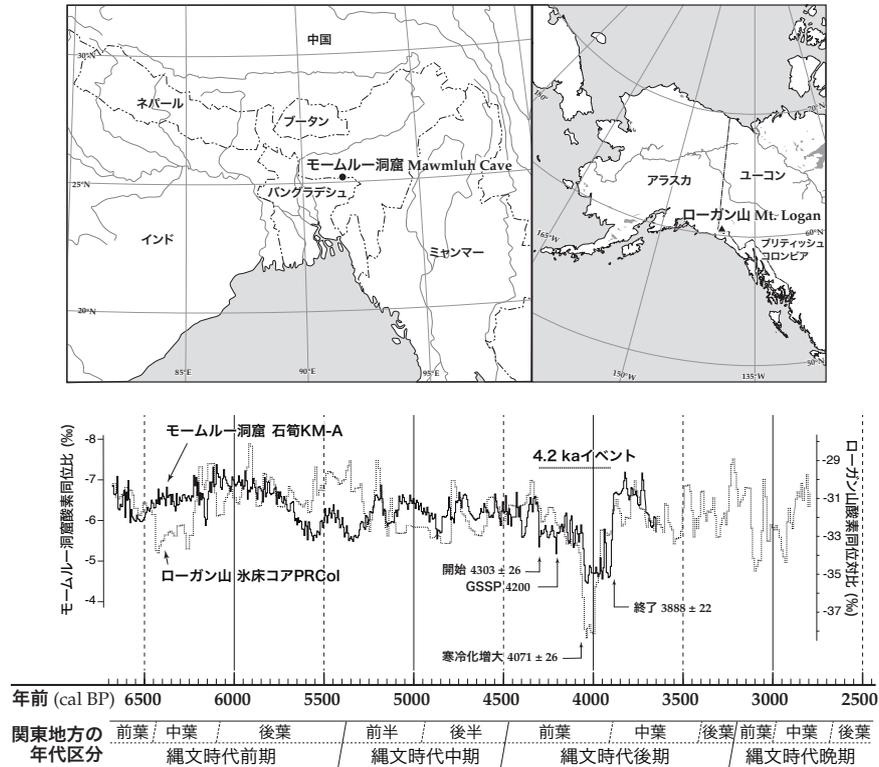


図1 モームルー洞窟とローガン山の位置（上段）および両地点における酸素安定同位体比の変動と縄文時代の年代区分との対比（下段）。モームルー洞窟の石筍の酸素安定同位体比 (Berkelhammer et al., 2012) とローガン山の氷床コアの酸素安定同位体比 (Fisher et al., 2008) の対比図は Walker et al. (2019) による。4.2 ka イベントの開始と、GSSP、寒冷化増大、終了の年代は Walker et al. (2019) に基づく。関東地方における縄文時代の年代区分は小林 (2017, 2019) に基づく。

Fig. 1 Location of Mawmluh Cave and Mt. Logan (upper) and correspondance between their  $\delta^{18}\text{O}$  records and the division of the Jomon period (lower). The  $\delta^{18}\text{O}$  records of Mawmluh Cave (Berkelhammer et al., 2012) and Mt. Logan (Fisher et al., 2008) are correponded by Walker et al. (2019). The division of the Jomon period in Kanto district follows Kobayashi (2017, 2019).

をはじめとして、熱帯収束帯 (Intertropical Convergence Zone: ITCZ) の南下や大西洋子午面循環 (AMOC) の弱化などが検討されている (図2: Dang et al., 2024; Lin et al., 2022; Marchant & Hooghiemstra, 2004; Renssen, 2022; Toth & Aronson, 2019; Wannier et al., 2015; Yan & Liu, 2019 など。詳細は Walker et al. (2018, 2019) および平林・横山 (2020) 参照)。4.2 ka イベントの模式地であるモームルー洞窟では、酸素安定同位体比が8500～6000年前の比較的低い値から約6500年前に一度増加し、その後、4000年前後の短期間に急激に増大し、モンスーンの降水の減少と捉えられた (図1; Berkelhammer et al., 2012)。Walker et al. (2018, 2019) はこの酸素安定同位体比曲線に基づいて、4.2 ka イベントの開始を  $4303 \pm 26$  yr BP、寒冷化増大を  $4071 \pm 31$  yr BP、終了を  $3888 \pm 22$  yr BP とし、GSSP を 4200 yr BP と設定した。小林 (2017, 2019) による関東地方の土器型式の年代値に対比すると、4.2 ka イベントは縄文時代後期初頭の称名寺1c 式期から後期中葉の加曽利 B1 式期に相当する。モーム

ルー洞窟では近年、より詳細な年代測定に基づいて別の石筍の同位体比の検討が行われ、4.2 ka イベントの開始は約4255 yr BP でその後4070 yr BP まで乾湿の変動が大きく、4070–4010 yr BP にはモンスーン強化で多雨となり、それ以降は明瞭に乾燥化が進むが、3970 yr BP と3915 yr BP 前後の20年ほどは特に乾燥化したと報告されている (Kathayat et al., 2018)。4.2 ka イベントの副模式地とされるのはカナダ北西部のローガン山 Mt. Logan の氷床コア PRCol で、モームルー洞窟と同様の時期に酸素安定同位体比の低下が認められ、経度方向の大気循環との対応が指摘された (Fisher et al., 2008)。またこの Mt. Logan の寒冷化の時期にはカナダ西部やグリーンランド、アイスランドでは氷河が拡大し、カナダでは冷夏や降雪量との関連が、グリーンランドでは最温暖期以降の氷河の拡大との関連が、アイスランドでは大噴火との関連が議論されている (Balascio et al., 2015; Geirsdóttir et al., 2019; Menounos et al., 2008)。グリーンランドの氷床コアでは、さらに完新世の最温暖期以降の寒冷化が4.2 ka イベントをきっかけ

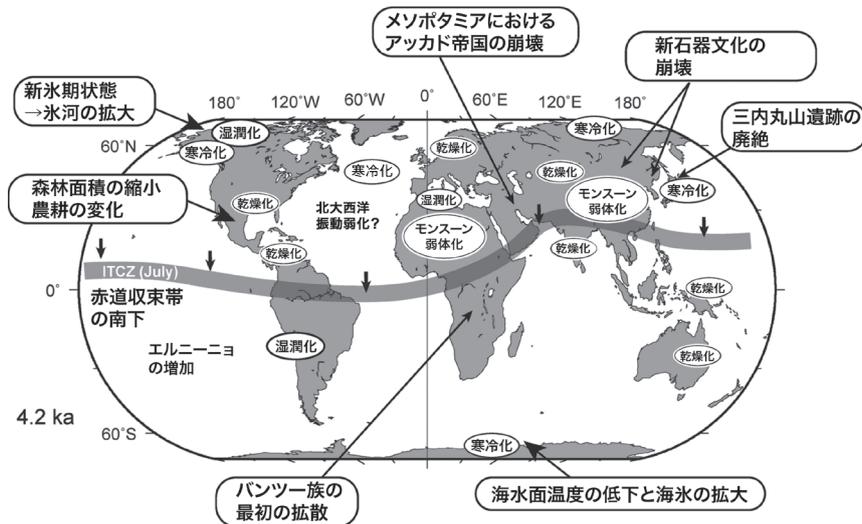


図2 4.2 ka イベントに関連する気候変動と人間社会への影響 (平林・横山, 2020 を改変). 平林・横山 (2020) によると, 4.2 ka イベントのメカニズムは未解明であるが, 赤道収束帯の南下と北大西洋表層水の寒冷化, ENSO 変動との関連が想定されている. その結果, アジアモンスーンの弱体化と広範囲の地域での乾燥化が生じた. ITCZ の位置は現在の7月の位置で, Lechleitner et al. (2017) を平林・横山 (2020) が改変したもの.

Fig. 2 Climatic changes during the 4.2 ka event and their impacts on human society (modified from Hirabayashi & Yokoyama, 2020). According to them, the mechanism of the 4.2 ka event has not been clarified, but relationships with the southward move of ITCZ, the cooling of North Atlantic surface water, and ENSO are being discussed. These changes resulted in a weakening of Asian monsoon and drying in extensive areas. The position of ITCZ in July is modified by them from Lechleitner et al. (2017).

により明瞭となったことが, 水蒸気の拡散モデルから捉えられている (Gkinis et al., 2014). アイスランド海盆や南極半島でも, 4.2 ka イベントをきっかけに, 完新世後半の低海面温度や海水卓越といった環境への変化が認められている (Orme et al., 2018; Peck et al., 2015). このように, 4.2 ka イベントはその寒冷化をきっかけとして, 完新世の環境が比較的温暖な中期から寒冷な後期へ転換した時点として位置付けられている。

### 3. イベント期の世界各地の気候変動と人類社会への影響

4.2 ka イベントには世界の各地で大きな気候変動が生じたとともに, 人類社会へも大きな影響がもたらされた (図2: 平林・横山, 2020; Ran & Chen, 2019; Walker et al., 2018, 2019). ここでは中国大陸から始まって西回りに, 各地で起こった事例を概観する。

中国大陸西部では, アルタイ山脈における寒冷化と集落の分布なども検討されているが (Huang et al., 2021), ほとんどの研究はチベット高原の東部で行われており, ここでは寒冷化と夏季モンスーンの弱体化による乾燥化によって, 集落が減少して低標高域に移り, 農耕社会から遊牧社会へ変化した (An et al., 2005; Hong et al., 2003; Hou et al., 2016; Liu et al., 2010; Yang et al., 2021). 北東部の内モンゴル自治区周辺では, 呼伦 (Hulun) 湖や達里 (Dali)

湖, 袋海 (Daihai) 湖, 公海 (Gonghai) 湖などで主に花粉分析による研究によって気候変動が解析され (Chen et al., 2015; Wen et al., 2010, 2017; Xiao et al., 2004, 2018, 2019; Xu et al., 2010), 寒冷化と乾燥化によって集落が激減して人々は黄海沿いへ移動するとともに農耕社会から遊牧社会へと変動したとされている (Guo et al., 2018). 黄河中流部の河南省では寒冷化と乾燥化が指摘される一方 (秦ほか, 2015; Zhang et al., 2018a), 西部から陝西省にかけての山岳域では洪水が頻発した (Tan et al., 2018; Xia et al., 2004; 張・夏, 2011; Zhang et al., 2019a). 渤海の湾岸では草原化・乾燥化とともに相対的海水準が低下し (You et al., 2024), 黄海では海面温度の低下が記録されている (Wang et al., 2011; Wu et al., 2016). 長江中・下流部の湖北省から浙江省にかけての地域は中国の新石器文化の中心地であり様々な角度から環境変動と社会変動との関連が検討されている. この地域では, 明瞭な気候変動が認められないという報告もあるものの (Wang et al., 2023; Zhu et al., 2017), 乾湿の繰り返し (Zhang et al., 2023) や寒冷・乾燥化 (Yao et al., 2017), 長江の流出量の増加 (Wang et al., 2014), 降水量の増大による洪水 (Zhang et al., 2021a), エルニーニョの増大による稲作の消滅 (Li et al., 2018), 相対的海水準の上昇 (He et al., 2021; Wang et al., 2018), 東シナ海の海面温度の低

下 (Kajita et al., 2018) といった様々な現象と良渚文化の消滅との関連が検討されている。また安徽省では乾燥化によって大汶口文化から龍山文化へ変化したと報告されている (Wang et al., 2016)。中でも江西省の神農 (Shennong) 洞窟と孽龍 (Jiulong) 洞窟の石筍の酸素・炭素同位体比の研究は降水量の変動と良渚文化の消滅過程との対比を詳細に検討しており、良渚文化は 4335–4269 yr BP の湿潤化で消滅したこと、モームルー洞窟と同様に (Kathayat et al., 2018), 4.2 ka イベント中でも 4.0 ka までは比較的湿潤で乾湿の変動が大きく、それ以降は乾燥化したことが示されている (Zhang et al., 2021a)。中国大陸ではその他にも 4.2 ka イベントに関連する多数の研究が行われているが、中国大陸とその周辺の様々なプロキシのデータを総覧した研究 (Lin et al., 2022; Zhang et al., 2018b) によると、秦嶺山脈から長江デルタにかけての地域は湿潤となり、それより北側と西側は乾燥化したとされている。

東南アジアからオセアニアでは、ボルネオにおける降水量の増大 (Yamamoto et al., 2021) や、オーストラリア北部におけるモンスーン弱化的開始 (Denniston et al., 2013), ニュージーランドの北島における嵐の増加 (Gomez et al., 2004) などが報告されている。

南アジアでは、ネパールのララ湖 (Nakamura et al., 2016) とインド南部のカルナータカ州シャンティサガラ湖 (Sandeep et al., 2017) で夏季モンスーンの弱化的が報告されているほか、インド北西部やアラビア海では乾燥化によるハラッパ文明の都市の崩壊が報告されている (Dixit et al., 2014; Kathayat et al., 2017; Staubwasser et al., 2003)。近年では 4.2 ka イベントにおいて 3.97 ka まで続いた明瞭な乾燥化の後に 3.76 ka まで継続した漸進的な乾燥化によって後期ハラッパ文明が消滅したとされている (Giesche et al., 2023; Scroxtion et al., 2023)。しかしハラッパ文明が展開していた地域はインダス川の中流域から下流域の広い範囲に及んでおり、暑い砂漠から暑いステップ、温暖で冬季乾燥・夏季暑熱の地域など、夏季と冬季に降水のある地域からヒマラヤからの融水の水が得られる地域まである点を考慮すると、ハラッパ文明の崩壊も単なる乾燥化では説明できないという意見もある (Petrie et al., 2017)。

メソポタミアでは、4.2 ka イベントにおける乾燥化と同時期の噴火によってアッカド文明が崩壊したことがシリアを中心として報告されており (Cullen et al., 2000; Weiss, 2017a, 2017b; Weiss et al., 1993), この時期には当時の社会経済システムでは維持できないレベルに都市化が進行していたことも肥沃な三日月地帯北部での社会の崩壊の背景に存在すると指摘されている (Carolin et al., 2019; Lawrence et al., 2021)。

地中海の東部のレバントでは、北部で影響が認められな

いという報告もあるものの (Manning et al., 2020), 一般的には 4.2 ka イベント時には乾燥化が進み、オリーブ畑の放棄や都市の減少、遊牧化があったとされている (Bar-Matthews et al., 2003; Kagan et al., 2015; Kaniewski et al., 2013, 2017; Langgut et al., 2014, 2015)。一方、レバント全体で乾燥化が進んだのではなく、中部から南部では 300 年間前後の乾燥期が 2 回あったという報告もあり (Kaniewski et al., 2018), 南アジアや東アジアでの報告と合わせて考えると、4.2 ka イベントの間にも色々な気候変動や環境変動があったようである。地中海の他の地域をみると、イタリア北部やスペイン南部、アルジェリアで 4.2 ka イベントの時期に乾燥化が認められており、人類社会への影響が検討されている (Drysdale et al., 2006; Groucutt et al., 2022; López-Sáez et al., 2018; Ruan et al., 2016)。エジプトとその周辺では、4.2 ka イベントにはサヘルを中心として乾燥化が進み、ナイル川下流域ではナイル川の水位低下や、砂漠由来の風成物質流入量の増加、穀物栽培の衰退と飢餓で、エジプトの古王国 (第 3–6 王朝) が崩壊したとされている (Arz et al., 2006; Hassan et al., 2017; Pennington et al., 2019; Stanley et al., 2003)。歴史資料と環境変遷の研究成果を付きあわせて、Younes & Bakry (2022) は中央から地方へと政治権力が拡散したという社会政治的な背景と干ばつやそれによって引き起こされた飢饉との関連を検討し、古王国の崩壊から第 1 中間期にかけて生じた気候変動に対する人類社会の対応を提示している。

アフリカ東部では、エチオピアのタナ湖やキリマンジャロ山で 4.2 ka イベントにおける明瞭な乾燥化が報告されているが (Marshall et al., 2011; Thompson et al., 2002), ウガンダとコンゴにまたがるエドワード湖やケニアのトゥルカナ湖では乾燥化は軽微であったとされている (Ricketts & Johnson, 1996; Russell & Johnson, 2005; Russell et al., 2003)。アフリカ中央部では、4000–4200 yr BP におけるサヘル乾燥化と 3900–3200 yr BP の湿潤期によるチャド湖の拡張や、言語学的な解析から、バンツー族の拡散の年代とルートが検討されている (Koile et al., 2022; Maley & Vernet, 2015 など)。アフリカ南部では、ナミビアのダンテ (Dante) 洞窟の石筍の酸素安定同位体比から 4.2 ka イベントに熱帯降雨帯が南下して周辺が湿潤化したことが指摘され (Railsback et al., 2022), ダンテ (Dante) 洞窟の別の石筍の解析から湿潤期が 4.2 ka イベント期に 2 回あったことが示されている (Railsback et al., 2018)。一方、南アフリカ西南部のカトバッキー (Katbakkiese) 峠のイワダヌキの排泄物の分析では、4.2 ka イベントの影響はまったく認められていない (Chase et al., 2015)。

北アメリカ中東部では 4.2 ka イベント期に乾燥化し、湿原の地下水位低下や湖底の年縞厚の増加、砂丘の移動量

の増加などが報告されている (Booth et al., 2005)。トウモロコシは、4.2 ka イベントの直前にはアメリカ西南部に出現し、4000 yr BP には様々な環境で狩猟採集民の生活に組み込まれたため、その拡散については民族の移動との関連で4.2 ka イベントの影響が議論されている (Merrill et al., 2009; Smith, 2017 など)。ユカタン半島で行われた花粉分析による解析では、4.2 ka イベントを含む5400–3900 yr BP に乾燥化し、4.2 ka イベント期にトウモロコシが出現することから人類の生業との関連が指摘されている (Torrescano-Valle & Islebe, 2015)。またメキシコ中部の石筍の酸素安定同位体比の解析では、4300 yr BP 以降には、エルニーニョ・南方振動の増大によって完新世後期の乾燥化の時期に入ったとされている (Bernal et al., 2011)。

南アメリカでは、ペルーやボリビアの山岳氷床やパタゴニアの洞窟の石筍では4.2 ka イベントの変動は不明瞭であるものの (Schimpf et al., 2011; Thompson et al., 2000)、ブラジルの洞窟の石筍では4.2 ka イベント期に湿潤化が認められ、中国大陸東部のドンゲ洞窟の酸素安定同位体比から復元される気候変動のパターンとは逆の気候変動が起こったと指摘されている (Wang et al., 2007)。

#### 4. 中国大陸での4.2 ka イベントの人類社会への影響

中国大陸では古くから4.2 ka イベントにおける環境変動が新石器文化へ及ぼした影響が検討され、この時期に北部は乾燥し、南部は洪水が多発して新石器文明が崩壊したが、他の地域とは異なって中原ではその後、最初の国家が誕生したとされていた (Wu & Liu, 2004)。Liu & Feng (2012) は中国大陸における4.2 ka イベントの環境変動を概観した後で、青海省から甘粛省の地域、内モンゴルの中南部と東南部、海岱地域、長江の中・下流域、黄河の中・下流域、中原の文化地域について、文化層ごとに遺跡の検出状況を解析した。その結果、中原を除いたすべての地域で4.2 ka イベントを境にして文化が断絶し、青海省から甘粛省の地域と、内モンゴルの中南部と東南部ではそれまでの農耕社会から遊牧を伴う社会に変化したことを提示した。その後、He et al. (2022) はそれ以降の遺跡の検出状況に加えて、栽培植物の出土状況から、4.2 ka イベントを通じた中国大陸における社会変動を検討した。ここでは、He et al. (2022) に基づいて、4.2 ka イベントが中国大陸の新石器文化に与えた影響を概観する。

中国大陸の新石器時代から青銅器時代にかけて行われた4160点の放射性炭素年代測定値と336点の植物考古資料

データをもとに、He et al. (2022) は、それらの出現状況を遼西地域と甘青地域、中原という北西部と、海岱地域と江漢地域、長江デルタという南東部で検討した (図3A)。放射性年代測定値の積算確率分布 (SPD) が当時の人口を反映しているという前提のもので、562遺跡における3001点の測定値から1184時点におけるSPDの経時的な変化を検討した (図3C)。その結果、北西部の遼西地域と甘青地域、中原は4.2 ka イベント間とその後に人口が増加したのに対し、南東部の海岱地域と江漢地域、長江デルタでは4.2 ka イベントの前に人口が増加し、イベント間とその後には人口が急減した。遼西地域と甘青地域、中原では、4.2 ka イベント間と直後の約4000 cal BPと約3400 cal BPに人口増加がほぼ並行して起こり、それぞれ後期新石器文明の発展期と青銅器文明に対応していた。それに対し、海岱地域と江漢地域、長江デルタでは4.2 ka イベント前の後期新石器文明にピークがあるのみで、その後は、海岱地域では約3800 cal BPに、江漢地域では約4100 cal BPに、長江デルタでは約4300 cal BPに人口は最低となり、青銅器文明ではない単純で人口の少ない社会に置きかわっていた。

次に、He et al. (2022) は、この時期の農耕の実態を検討するため、アワ *Setaria italica* (L.) P. Beauv. とキビ *Panicum miliaceum* L.、イネ *Oryza sativa* L.、コムギ *Triticum aestivum* L.・オオムギ *Hordeum vulgare* L.、ダイズ *Glycine max* (L.) Merr. subsp. *max* の出現状況を4.2 ka イベントの最中 (4300–3900 cal BP) とその後 (3900–3500 cal BP) に分けて検討した (図3D)。遼西地域と甘青地域では、4.2 ka イベント期もその後もアワとキビを主体としていたが、甘青地域ではコムギ・オオムギの比率が次第に高くなった。中原では4.2 ka イベント期もその後もアワを主体とし、それにキビとイネ、ダイズが伴っていた。それに対し、海岱地域と江漢地域、長江デルタではイネの比率が高く、海岱地域と江漢地域ではイネとアワ、キビが混植され、4.2 ka イベント後にイネの比率が有意に低下した。一方、長江デルタではイネのみが4.2 ka イベント期もその後も植えられていた。こうした地域ごとの変動を北西部と南東部で取りまとめて人口の動態と対比すると、4.2 ka イベントの前は北西部でも南東部でも人口も農耕も約7000 cal BP以降増加して約4900 cal BPにピークに達した。それに対し、4.2 ka イベント期の北西部では人口も農耕も約4000 cal BPに再びピークを迎えたのに対し、南東部では急減した。4.2 ka イベント後でも北西部では約3400 cal BPにまたピークが見られるのに対し、南東部で

Fig. 3 Impacts of the 4.2 ka event in mainland China (after He et al., 2022). A: Sites with archaeological radiocarbon dates in six regions of mainland China and location of climate records. B: Climate records of the 4.2 ka event and changes in precipitation during the weak monsoon of 1979–2010. C: Summed probability distribution (SPD) of archaeological radiocarbon dates in the six regions. gray: all dates, red: during the event, green and blue: after the event. D: Occurrence of crop plants across the 4.2 ka event. pale red in the background: during the event, pale blue: after the event.

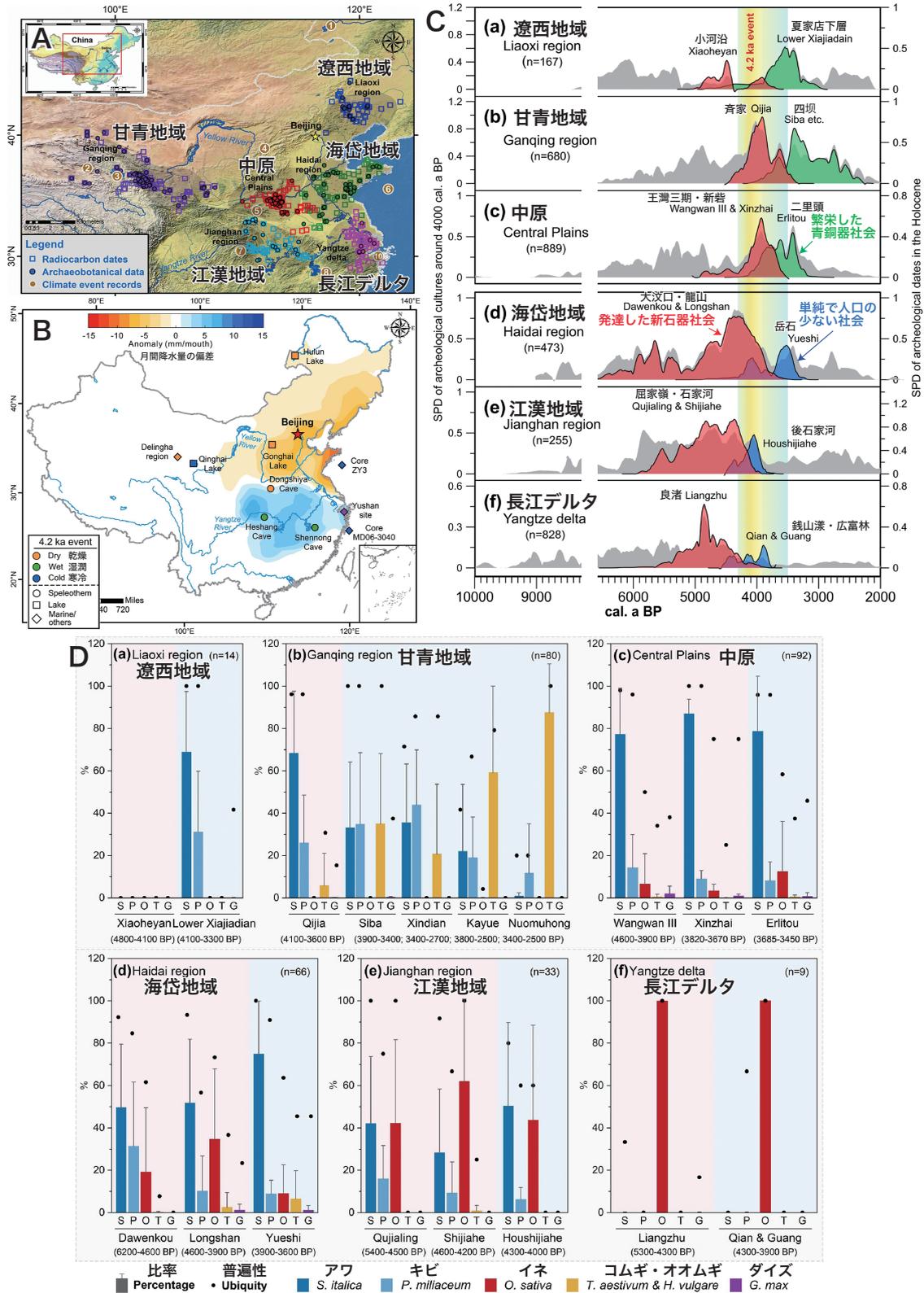


図3 中国大陸における4.2 ka イベントの影響 (He et al., 2022). A: 年代測定値と植物資料が得られている6地域と気候変動の記録地点. B: イベント時の気候記録と、1979年～2010年のモンスーン弱化期の降水量変動. C: 放射性年代測定地の積算確率分布 (SPD) (灰色: 全点, 赤: イベント期の文化, 緑・青: イベント後の文化). D: イベント前後における栽培植物の出現頻度 (背景の薄い赤: イベント期, 薄い青: イベント後).

は減少傾向が継続した。この検討の結果は、北西部では雑穀農耕によって4.2 ka イベント期の環境変動をしのいだのに対し、南東部では稲作の衰退が影響して人口が激減したことを示していた。

4.2 ka イベント期のプロキシ・データによると、秦嶺山脈から長江デルタにかけての地域は湿潤となり、それより北側と西側は乾燥化したが (Lin et al., 2022; Zhang et al., 2018b), これはモンスーンが弱化した際の現在の降水量の変動とよく合っている (図 3B)。4.2 ka イベント期に乾燥化と寒冷化が進んだとされる甘青地域でコムギ・オオムギの栽培がこの時期に広がるのは、アワやキビよりも霜害と低温に強いと考えられている。4.2 ka イベント期に長江流域で稲作が維持困難となって新石器文明が崩壊したのは、洪水の増大や寒冷下などの大きな気候変動がその要因とされている (Kajita et al., 2018; Li et al., 2018; Wang et al., 2023; Zhang et al., 2021a, 2021b, 2023)。ただし、4.2 ka イベント期にコムギの存在がすでに海岱地域で報告されており (Long et al., 2018), この時期の栽培と穀類の伝播についてはさらなる検討が必要なようである。

中国大陸におけるこうした4.2 ka イベント期の変動の背景にはより大きな文化的および社会的な変動が存在した。キルギスタンでの石筍の解析によると、中央アジアでは5820–5180 yr BP に大きな干ばつがあり、5000年前以降になってやっと西アジア起源のコムギとオオムギ、羊・ヤギ、牛および東アジア起源のアワとキビの両方を持つ遺跡がチベット高原周辺でわずかに出現し、4000年前以降にごく普遍的になる (Tan et al., 2021)。シルクロードに沿った人骨の炭素同位体比と植物資料の年代測定値の対比でも、ちょうど4.2 ka イベントを境にして、コムギ・オオムギ食とアワ・キビ食の中間の同位体比をもつ人骨が出現し、それまではチベット高原の西端でしか出現していなかったコムギ・オオムギが東端へと広がり、3500年前には中国大陸北西部まで広がったことが示されている (Dong et al., 2017)。中国大陸の黄河中・上流域と中原より下流の地域で出土した動物遺体をみると、5000–4300年前には全域で野生動物と在来の豚・犬の出土が多いのに対し、4300–3000年前になると中・上流域では西アジア起源の羊・ヤギと牛が半分以上を占める場所が多くなり、下流域でも30%以下ながら出土する (Dong et al., 2020)。こうした家畜や栽培植物の伝播と共に、冶金術も中国大陸に伝わり (Li, 2015), こうした技術がベースとなって社会基盤が充実し、中原では中国大陸で最初の王朝が出現したとされている (Yuan et al., 2020)。このように4.2 ka イベントは中国大陸の社会に大きな変動をもたらした現象であったが、人口は東南部ではイベントの前に増大してその後稲作の衰退とともに激減したのに対し、北西部ではイベ

ント中に増大してその後穀類の栽培をもとに増大したように、地域によって人間社会の応答は異なった。最近では4.2 ka イベントが、人の移動から始まる生業経済の多様化および文明要素の交換と共有による中国文明の形成のきっかけとなったという見解も提示されている (中村, 2025)。

## 5. 日本列島における4.2 ka イベントの人類社会への影響

日本列島における完新世の環境変動と人類社会との対応は Kudo (2007) および 工藤 (2012) によって検討され、4.2 ka イベントはボンド・イベント (Bond et al., 1997) およびドンゲ洞窟の石筍の酸素安定同位体比 (Wang et al., 2005) と対比して捉えられた。そして、この時期の日本列島では、鳥取県東郷池の年縞 (福沢ほか, 1999) や、関東平野の植生変遷 (吉川, 1999a), 関東地方の海水準変動 (遠藤・小杉, 1990), 千葉県古流山湾周辺の環境変遷 (遠藤ほか, 1989), 埼玉県川口市の赤山陣屋跡遺跡の環境変遷 (辻, 1989) といった報告から、環境が大きく変動したことを提示した。ただし、相対的の海水準の変動は、東京湾を中心として、マガキ礁や貝や珪藻の組成、堆積物の性格、出土遺物とその年代測定値を用いて復元されているが、まだ一致をみていない (遠藤, 2017; Tanabe, 2022)。一方で、この時期に関東地方の開析谷で浅い谷が形成されることは、すでに赤山陣屋跡遺跡で見いだされ (辻, 1989), ついで東京都東村山市の下宅部遺跡でも報告されていた (工藤ほか, 2007)。そのため、この時期の堆積物は関東地方では一般に欠如していて、この時期を跨いで行われている花粉分析でもデータが欠落しているのが普通である (吉川, 1999b など)。しかしこの時期は、その前後で低地の環境が谷沿いの疎林から低地林に変化するとともに、トチノキをはじめとする様々な植物資源が重層的に利用され、縄文時代の人々の植物資源利用が大きく変わる時期であり (能城・佐々木, 2014; Noshiro et al., 2025; 佐々木ほか, 2007), 4.2 ka イベントの時期は文化史的にも重要な時期である。なお、4.2 ka イベントとの関連で青森県青森市の三内丸山遺跡の集落の崩壊と陸奥湾の海水温低下 (Kawahata, 2019; Kawahata et al., 2009) との対応がよく引用されている (図 2)。Kawahata et al. (2009) および Kawahata (2019) が示した陸奥湾の海水温低下は4.2 ka イベント期に始まり、それ以降の約1000年間、海水温低下が継続する。一方、三内丸山遺跡の集落は4300 cal BP にはすでに終焉を迎えており (辻・中村, 2001), 4.2 ka イベントとは関連がないと考えられる。

それでは当時の日本列島周辺の環境はどのように変動したのであろうか。まず台湾南部の東源湖で行われた堆積物の分析では、5000年前から4.2 ka イベント直前までは乾燥化が認められるものの、4.2 ka イベント期における大き

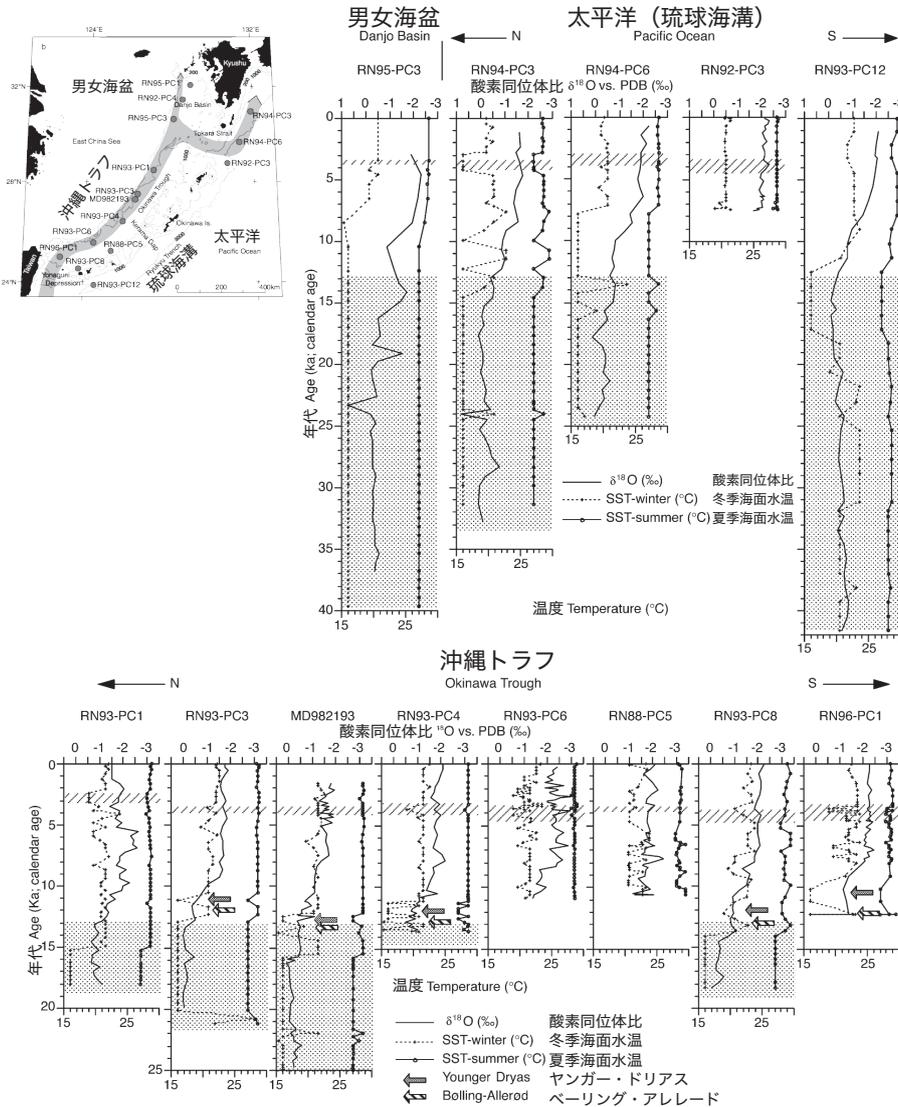


図4 沖縄トラフと男女海盆, 琉球海溝における夏季海面水温と冬季海面水温, 浮遊生有孔虫の酸素安定同位体比の経時変化の対比 (Ujiié et al., 2003). 斜線部分は *Pulleniatina* 極少事変 (PME), 点を付した部分は最終氷期最寒冷期を含む寒冷期。

Fig. 4  $\delta^{18}\text{O}$  records of planktonic foraminifera and summer and winter surface temperatures in Okinawa Trough, Danjo Basin, and Ryukyu Trench (after Ujiié et al., 2003). slashes: *Pulleniatina* minimum event (PME), dots: cold periods.

な変動は捉えられていない (Yang et al., 2011)。黒潮周辺の変動を南から見てみると, 長江河口沖の堆積物から検討した黒潮の分流である黄海暖流の海面水温はイベント期に上昇しており, 黒潮の流れが強くなったことを示していた (Zhang et al., 2019b)。一方, 韓半島南端で行われた花粉分析によると, イベント期には乾燥して恐らく寒冷でもあった時期が2回あり, その時期には遺跡出土植物資料の積算確率分布が極小となることから, 定住率が低下したとされている (Park et al., 2019)。琉球列島周辺では, 4600–2700年前に冬季モンスーンの増大で黒潮が弱化したが, 4.2 ka イベントの影響はとくに認められないという

報告 (Jian et al., 2000) から, サンゴ礁の成長が鈍化したという報告 (Hamanaka et al., 2012) やサンゴ礁で推定した海面水温が夏季も冬季も2度ほど低下したという報告 (Seki et al., 2012) もあり, イベント時の現象については明瞭な見解は得られていない。琉球列島周辺の海洋底コアの有孔虫のデータを総覧した Ujiié et al. (2003) によると, 4.2 ka イベントの時期には *Pulleniatina obliquiloculata* の出現が減少する *Pulleniatina* 極少事変 (*Pulleniatina* minimum event: PME) が起こるが, 海面水温はごくわずかの地点でしか低下せず, 黒潮の温度は低下していなかった (図4)。ただし, *Pulleniatina obliquiloculata* の減

少に伴って、黒潮の表徴種であるが異なった生息環境をもつ *Neogloboquadrina dutertrei* が増加することから、この時期にはエルニーニョ・南方振動 (ENSO) が関与して黒潮の性格が変わったとされている。博多湾の海洋底堆積物では 4.2 ka イベント期に 2°C ほどの海水温低下が認められるが、沿岸域の湧昇の影響を受けた揚子江河口域における 4°C 以上の海水温低下と比べると有意に少なかった (Kajita et al., 2022)。

日本列島で唯一の酸素安定同位対比の変動が検討されている新潟県福来口鍾乳洞の石筍では、4100 年前後に 100 年間ほど酸素安定同位対比がやや低下するものの、大きな変動は認められていない (Sone et al., 2013)。また日本列島周辺の珪藻群集から海水面温度の変動を解析した研究でも、4.2 ka イベントの時期に海水面温度が低下したという傾向はごく一部の地点でしか認められておらず (Koizumi, 2008)、また北海道の沖で採取された海底堆積物中の珪質鞭毛藻の解析でも 4.2 ka イベントの時期に大きな変動は認められていない (Okazaki et al., 2024)。一方、貝類の組成を太平洋側と日本海側で比較した松島 (2010) は、太平洋側では縄文時代中期まで紀伊半島付近に生息していた熱帯種がその後激減したのに対し、日本海側では縄文時代中期と後期ではそれほど変動は無かったとしている。

このように、日本列島とその周辺における 4.2 ka イベントの環境変動の研究は中国大陸と比べると圧倒的に少なく、日本列島周辺における実態は分かっていない。そのため縄文時代の人々の生活環境への影響も未解明である。4.2 ka イベント期を通じて縄文時代の人々の生活が捉えられている唯一の場所は埼玉県北本市のデーノタメ遺跡である。この遺跡は荒川の支流である江川が大宮台地の北端を開析した場所にあり、縄文時代中期前半から後期中葉の間の 3 時期に集落が営まれ、漆塗りを含む同時期の土器と、中期のクルミ塚 6 基、後期のトチ塚 1 基が検出された (北本市教育委員会, 2019)。この遺跡では 68 試料の放射性炭素年代測定を行った結果、普通は欠落している 4.2 ka イベント期の堆積物が谷の縁に残されていたことが判明し、その資料を含めて検討した結果、4.2 ka イベント期を通して集落周辺にはクリ林とウルシ林が維持されて、その資源が活用されており、縄文時代の人々の生活環境には大きな変化が無かったことが判明した (Noshiro et al., 2025)。しかしデーノタメ遺跡における縄文時代の人々の生活の様相が日本列島において普遍的なものなのかは、より広い地域で同時期の現象を確認すると共に、考古学的な事象とも対照して検討されるべき課題であろう。

## 6. 4.2 ka イベントの最新の解釈

4.2 ka イベントは完新世の時期区分として 2018 年に提

示されたが、主要因が解明されている 8.2 ka イベントとは異なって、その存在にはしばしば疑問が呈されている。例えば、北大西洋周辺で 4.2 ka イベント時点の現象を比較したところ、グリーンランド南東部とアイスランド、スバル諸島西部では寒冷化で氷河の前進が見られるが、グリーンランドの他の地域やエルゼミア諸島では異例に温暖となるため、4.2 ka イベントは完新世後期の寒冷化の一現象にすぎないという意見もある (Bradley & Bakke, 2019)。また、中央アジアの天山山脈からツルファン盆地のプロキシを比較した研究では、5400–5100 年前に明瞭な乾燥期が、4900–4500 年前と 3400–3100 年前に明瞭な湿潤期が認められるのに対し、4.2 ka イベント期は乾燥を示すプロキシが多いものの、全体としては湿潤あるいは変化無しのプロキシの方が多く、この間の変動は明瞭でない (Liu et al., 2023)。そのため、Helama (2024) は古気候に関する 317 論文を総覧して、熱帯収束帯の南下によってアジアモンスーンの影響下にあるユーラシア南部から地中海で乾燥し、ヨーロッパ中・北部は湿潤となるという傾向が得られているが、これらの地域での研究が全体の 4 分の 3 以上を占めており、4.2 ka イベントの実態を把握するには詳細な年代測定に基づく世界各地での研究が現時点でも必要であると主張している。

こうした背景のもとで、この数年、多数のプロキシを取りまとめて、4.2 ka イベントを再評価する研究が行われ、まったく異なった成果が得られている。一つは McKay et al. (2024) による研究で、1142 点の古気候データに基づいて気温と降水量の大変動の出現を地域ごとに検討したものである。その結果をみると、8.2 ka イベント期にはグリーンランドから北大西洋を中心として寒冷・乾燥の明瞭な変動が見られ、それがヨーロッパ北部とスカンジナビア半島南部から東南アジアまで伸び広がり、東南アジアでは乾燥化が著しかった (図 5A)。それに対し、4.2 ka イベント期には有意な気温や降水量の変動が 52 地点でしか認められず、地域ごとにまとまてはいない。また、4.2 ka (4.3–4.1 ka) と 4.0 ka (4.1–3.9 ka) における変動を比較すると、全般的に地中海東部・中近東と、中央・南アジア、アメリカ南西部などは温暖・乾燥に、ヨーロッパ北東部や東アジア、アメリカ北西部・カナダ南西部などは湿潤・寒冷になったように見えるが、地域ごとに変動をみると、まったく別の変動を示している可能性が高いとしている。そのため、McKay et al. (2024) は 4.2 ka イベントは世界レベルでの変動ではないと主張している。

もう一つは Nan et al. (2025) によるもので、北半球の 200 地点の古気候データを検討し、その内の 65% の地点では 4.2 ka イベント期に気候変動が起こっており、ヨーロッパから中近東と、中央アジア、南アジア、北米では乾燥化

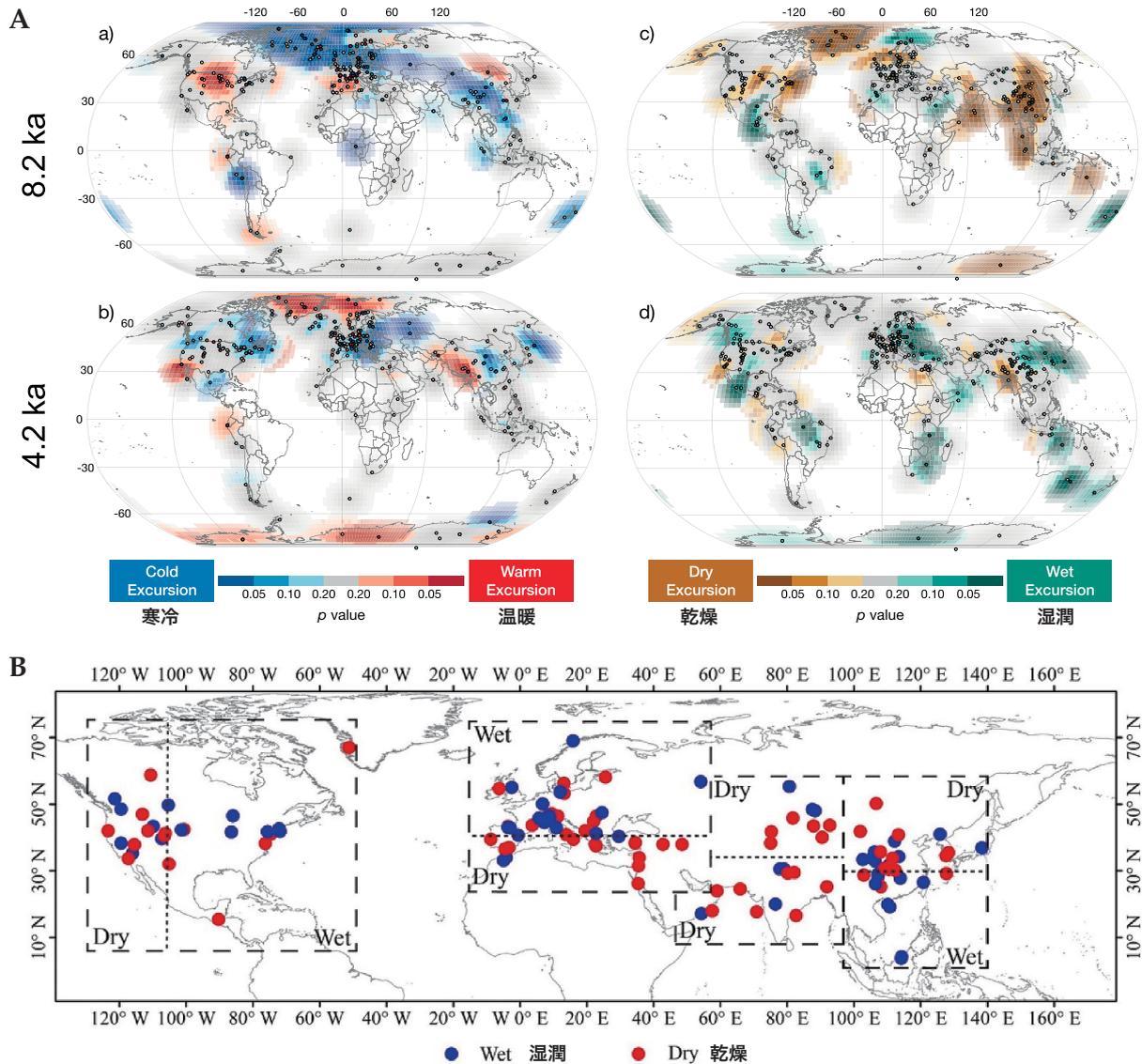


図5 8.2 ka イベントと4.2 ka イベントにおける気候変動。A: 1142地点の古気候プロキシーで8.2 ka イベント (8.3–8.1 ka) と4.2 ka イベント (4.3–4.1 ka) に見いだされた有意な変動の分布 (McKay et al., 2024)。南アジアで温暖乾燥、ヨーロッパで寒冷湿潤の変動が認められる。B: 北半球の200地点の古気候プロキシーで4.2 ka イベントに見いだされた乾湿の傾向 (Nan et al., 2025)。細かい点線は地域内における乾湿の分布の境界で、ユーラシア大陸では南北で、北米では東西で乾湿の傾向が異なる。Fig. 5 Climatic changes during the 8.2 ka and 4.2 ka events (McKay et al., 2024). B: Spatial expression of hydroclimatic change during the 4.2 ka event in the Northern Hemisphere (Nan et al., 2025).

を示す地点が多く、東南アジアから東アジアでは半分の地域は湿潤化を、残りは乾燥化を示していた。地域ごとにより細かく検討すると、ヨーロッパから中近東では北緯39度より北は湿潤化、南は乾燥化を示し、東南アジアから東アジアでも北緯30度より北は乾燥化、南は湿潤化を示し、北米では、西経106度より東は湿潤化を、西は乾燥化を示していた (図5B)。それに対し、中央アジアと南アジアでは、

乾燥化を示す地点のほうが多く、全般に乾燥化を示した。Nan et al. (2025) は、このように地域によって乾燥と湿潤が東西や南北の軸で起こる様相がまさに4.2 ka イベントの特徴であるとし、McKay et al. (2024) が見逃している点であると指摘した。そして4.2 ka イベントの要因を検討して、このイベントは大西洋子午面循環 (AMOC) の弱化や大西洋数十年振動 (Atlantic Multidecadal Oscillation:

AMO) と大西洋南北熱塩循環 (Atlantic Meridional Overturning Current: AMOC) の強化で始まり、その後は太平洋でも太平洋・北米パターン (Pacific-North American (PNA) pattern) の強化とエルニーニョの増加が起こって世界レベルに拡大したとしている。

しかし 4.2 ka イベント期の北半球の乾湿分布を示した Nan et al. (2025) の図も、南北や東西で区切った地域内でも乾湿の傾向は一定しておらず (図 5B)、プロキシ・データの年代軸の設定や、検討対象とする時間枠の設定、プロキシ・データの気候学的解釈、当時の気候の地域内変異といった様々な要因がこの時期の気候環境を把握するのに影響していると思われる。最近、中近東から地中海周辺で行われた研究によると、4.2 ka イベント期の気候変動は地域レベルでも単純ではない。地中海東部から中近東では、プロキシ・データのバイジアン構造時系列モデルから、エジプト付近の亜熱帯高圧帯 (Subtropical High Pressure Zone: STHPZ) の北方への拡大による地中海周辺から紅海での乾燥化と、中近東での風成塵増加という傾向が示されたが、地中海周辺から紅海でも乾燥化を示していない地点も多々存在した (Ön et al., 2021)。地中海周辺の 62 のプロキシ・データを取りまとめた研究では、4.2 ka イベント期には全般的に乾燥化した地点が多いものの、乾湿や気温の変動は混在しており、地域ごとにまとまった変動は見られていない (Bini et al., 2019)。イタリアからチュニジアにかけての 36 の花粉分析データを総覧した研究では、北緯 43 度以北では森林の変化はなく、北緯 39 度以南では森林が明確に後退したが、北緯 43 度～39 度にかけては、半島では森林が明瞭に後退した場所と不明瞭な場所があり、サルジニア島とコルシカ島ではまったく森林に変化がなかった (Di Rita & Magri, 2019)。このように 4.2 ka イベント時における気候変動は一つの地域内でも複雑な様相を示しており、8.2 ka イベント時に北大西洋周辺で大規模に広がった寒冷化と乾燥化とは異なった様相がこの時期には起こったようである。Scropton & McKay (2024) は、実際にイベント時の気候変動が多大な地域的影響を及ぼした空間と、イベント時に気候変動が起こっているが、同時並行に同じレベルの気候変動が起こっている空間を対照しながら、影響の範囲を検討する必要性を説いている。

## 7. まとめ

これまで述べてきたように、4.2 ka イベント期のユーラシア大陸では農耕に基づく社会が定着して発展しており、4.2 ka イベントにおける気候変動が中国大陸や南アジア、中近東からレバント、エジプトなどで大きな社会変動をもたらした。8.2 ka イベント期には人間社会は 4.2 ka イベント期ほど発展していなかったと捉えられているが、北

半球を中心とした気候変動の大きさから考えて、それなりの社会変動が生じた想定される。関東地方で見ると、4.2 ka イベント期の低地の堆積物は辻 (1989) や工藤ほか (2007) が指摘しているように欠落していることが多く、8.2 ka イベント期の堆積物は一般的に東京湾平均海面より下位にあり (吉川ほか, 2022 など)、いずれも変動期を捉えるのは容易ではない。一方、関東地方では 4.2 ka イベント期を境として、それまでハンノキがまばらに生育していた開析谷内の低地がヤチダモ・ハンノキ林で覆われるように変化し (辻, 1989)、低地周縁におけるトチノキの増加とともに縄文人の植物資源利用も大きく変化した (佐々木ほか, 2007; 能城・佐々木, 2014)。このように完新世に起こった小規模な気候変動でも関東地方では植生や人間社会には大きな影響を及ぼしており、関東地方以外および内陸部でも植生や人間社会に変化が生じた可能性がある。こうした点で、今後の植生史研究においても、急激で短期的な気候変動が完新世にも存在したことは認識しておくべきであろう。

## 謝 辞

本研究を行うにあたっては、東京大学総合研究博物館の池田 博氏と東北大学植物園の小林和貴氏には文献の収集にあたってお世話になった。記して謝意を表したい。本研究は部分的に JSPS 科研費 (23K20534, 25K00546) により補助を受けた。

## 引用文献

- Alley, R. B. & Ágústsson, A. M. 2005. The 8k event: cause and consequences of a major Holocene abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews* 24: 1123–1149.
- An, C.-B., Tang, L., Barton, L. & Chen, F.-H. 2005. Climate change and cultural response around 4000 cal yr B.P. in the western part of Chinese Loess Plateau. *Quaternary Research* 63: 347–352.
- Arz, H. W., Lamy, F. & Pätzold, J. 2006. A pronounced dry event recorded around 4.2 ka in brine sediments from the northern Red Sea. *Quaternary Research* 66: 432–441.
- Balascio, N. L., D'Andrea, W. J. & Bradley, R. S. 2015. Glacier response to North Atlantic climatic variability during The Holocene. *Climate of the Past* 11: 1587–1598.
- Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Gilmour, M., Matthews, A. & Hawkesworth, C. J. 2003. Sea-land oxygen isotopic relationships from planktonic foraminifera and speleothems in the Eastern Mediterranean region and their implication for paleorainfall during interglacial intervals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67: 3181–3199.
- Barber, D. C., Dyke, A., Hillaire-Marcel, C., Jennings, A. E., Andrews, J. T., Kerwin, M. W., Bilodeau, G., McNeely,

- R., Southon, J., Morehead, M. D. & Gagnon, J.-M. 1999. Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature* 400: 344–348.
- Berkelhammer, M., Sinha, A., Stott, L., Cheng, H., Pausata, F. S. R. & Yoshimura, K. 2012. An abrupt shift in the Indian Monsoon 4000 years ago. *Geophysical Monograph Series* 198: 75–88.
- Bernal, J. P., Lachniet, M., McCulloch, M., Mortimer, G., Morales, P. & Cienfuegos, E. 2011. A speleothem record of Holocene climate variability from southwestern Mexico. *Quaternary Research* 75: 104–113.
- Bini, M., Zanchetta, G., Perşoiu, A., Cartier, R., Català, A., Cacho, I., Dean, J. R., Di Rita, F., Drysdale, R. N., Finnè, M., Isola, I., Jalali, B., Lirer, F., Magri, D., Masi, A., Marks, L., Mercuri, A. M., Peyron, O., Sadori, L., Sicre, M.-A., Welc, F., Zielhofer, C. & Brisset, E. 2019. The 4.2 ka BP event in the Mediterranean region: an overview. *Climate of the Past* 15: 555–577.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I. & Bonani, G. 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climate. *Science* 278: 1257–1266.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M. N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I. & Bonani, G. 2001. Persistent solar influence on North Atlantic climate during The Holocene. *Science* 294: 2130–2136.
- Booth, R. K., Jackson, S. T., Forman, S. L., Kutzbach, J. E., Bettis, E. A., Kreigs, J. & Wright, D. K. 2005. A severe centennial-scale drought in midcontinental North America 4200 years ago and apparent global linkages. *The Holocene* 15: 321–328.
- Bradley, R. S. & Bakke, J. 2019. Is there evidence for a 4.2 ka BP event in the northern North Atlantic region? *Climate of the Past* 15: 1665–1676.
- Carlson, A. E., LeGrande, A. N., Oppo, D. W., Came, R. E., Schmidt, G. A., Anslow, F. S., Licciardi, J. M. & Obbink, E. A. 2008. Rapid early Holocene deglaciation of the Laurentide ice sheet. *Nature Geoscience* 1: 620–624.
- Carlson, A. E., Clark, P. U., Haley, B. A. & Klinkhammer, G. P. 2009. Routing of western Canadian Plains runoff during the 8.2 ka cold event. *Geophysical Research Letters* 36: L14704.
- Carolin, S. A., Walker, R. T., Day, C. C., Ersek, V., Sloan, R. A., Dee, M. W., Talebian, M. & Henderson, G. M. 2019. Precise timing of abrupt increase in dust activity in the Middle East coincident with 4.2 ka social change. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A (PNAS)* 116: 67–72.
- Chase, B. M., Lim, S., Chevalier, M., Boom, A., Carr, A. S., Meadows, M. E. & Reimer, P. J. 2015. Influence of tropical easterlies in southern Africa's winter rainfall zone during The Holocene. *Quaternary Science Reviews* 107: 138–148.
- Chen, F., Xu, Q., Chen, J., Birks, H. J. B., Liu, J., Zhang, S., Jin, L., An, C., Telford, R. J., Cao, X., Wang, Z., Zhang, X., Selvaraj, K., Lu, H., Li, Y., Zheng, Z., Wang, H., Zhou, A., Dong, G., Zhang, J., Huang, X., Bloemendal, J. & Rao, Z. 2015. East Asian summer monsoon precipitation variability since the last deglaciation. *Scientific Reports* 5: 11186.
- Cheng, H., Fleitmann, D., Edwards, R. L., Wang, X., Cruz, F. W., Auler, A. S., Mangini, A., Wang, Y., Kong, X., Burns, S. J. & Matter, A. 2009. Timing and structure of the 8.2 kyr B.P. event inferred from  $\delta^{18}\text{O}$  records of stalagmites from China, Oman, and Brazil. *Geology* 37: 1007–1010.
- Cullen, H. M., deMenocal, P. B., Hemming, S., Hemming, G., Brown, F. H., Guilderson, T. & Sirocko, F. 2000. Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea. *Geology* 28: 379–382.
- Dang, S., Liu, Z., Yu, K., Tao, S., Zhang, H., Wang, S., & Lan, H. 2024. Reduced ENSO variability during the onset of the 4.2 ka event. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 39: e2024PA004923.
- Denniston, R. F., Wyrwoll, K. - H., Polyak, V. J., Brown, J. R., Asmerom, Y., Wanamaker, A. D., LaPointe, Z., Ellerbrog, R., Barthelmes, M., Cleary, D., Cugley, J., Woods, D. & Humphreys, W. F. 2013. A stalagmite record of Holocene Indonesian–Australian summer monsoon variability from the Australian tropics. *Quaternary Science Reviews* 78: 155–168.
- Di Rita, F. & Magri, D. 2019. The 4.2 ka event in the vegetation record of the central Mediterranean. *Climate of the Past* 15: 237–251.
- Dixit, Y., Hodell, D. A. & Petrie, C. A. 2014. Abrupt weakening of the summer monsoon in northwest India ~4100 yr ago. *Geology* 42: 339–342.
- Dong, G. H., Yang, Y. S., Han, J. Y., Wang, H. & Chen, F. H. 2017. Exploring the history of cultural exchange in prehistoric Eurasia from the perspectives of crop diffusion and consumption. *Science China Earth Sciences* 60: 1110–1123.
- Dong, G., Du, L. & Wei, W. 2020. The impact of early trans-Eurasian exchange on animal utilization in northern China during 5000–2500 BP. *The Holocene* 31: 294–301.
- Drysdale, R., Zanchetta, G., Hellstrom, J., Maas, R., Fallick, A., Pickett, M., Cartwright, I. & Piccini, L. 2006. Late Holocene drought responsible for the collapse of Old World civilizations is recorded in an Italian cave flowstone. *Geology* 34: 101–104.
- 遠藤邦彦. 2017. 日本の沖積層—未来と過去を結ぶ最新の地層—. 改訂版. 475 pp. 富山房インターナショナル, 東京.
- 遠藤邦彦・小杉正人. 1990. 海水準変動と古環境. 総合地誌研究叢書 20 (モンスーンアジアの環境変遷) : 93–103.
- 遠藤邦彦・小杉正人・松下まり子・宮地直道・菱田 量・高野 司. 1989. 千葉県古流山湾周辺域における完新世の環

- 境変遷史とその意義. 第四紀研究 28: 61-77.
- Fisher, D., Osterberg, E., Dyke, A., Dahl-Jensen, D., Demuth, M., Zdanowicz, C., Bourgeois, J., Koerner, R. M., Mayewski, P., Wake, C., Kreutz, K., Steig, E., Zheng, J., Yalcin, K., Goto-Azuma, K., Luckman, B. & Rupper, S. 2008. The Mt Logan Holocene-late Wisconsinan isotope record: tropical Pacific-Yukon connections. *The Holocene* 18: 667-677.
- 福沢仁之・山田和芳・加藤めぐみ. 1999. 湖沼年縞およびレス - 古土壌堆積物による地球環境変動の高精度復元. 国立歴史民族博物館研究報告 No. 81: 463-484.
- Geirsdóttir, Á., Miller, G. H., Andrews, J. T., Harning, D. J., Anderson, L. S., Florian, C., Larsen, D. J. & Thordarson, T. 2019. The onset of Neoglaciation in Iceland and the 4.2 ka event. *Climate of the Past* 15: 25-40.
- Giesche, A., Hodell, D.A., Petrie, C.A., Haug, G. H., Adkins, J. F., Plessen, B., Marwan, N., Bradbury, H. J., Hartland, A., French, A. D. & Breitenbach, S. F. M. 2023. Recurring summer and winter droughts from 4.2-3.97 thousand years ago in north India. *Communications Earth & Environment* 4: 103.
- Gkinis, V., Simonsen, S. B., Buchardt, S. L., White, J. W. C. & Vinther, B. M. 2014. Water isotope diffusion rates from the NorthGRIP ice core for the last 16,000 years—glaciological and palaeoclimatic implications. *Earth and Planetary Science Letters* 405: 132-141.
- Gomez, B., Carter, L., Trustrum, N. A., Palmer, A. S. & Roberts, A. P. 2004. El Niño-Southern Oscillation signal associated with middle Holocene climate change in inter-correlated terrestrial and marine sediment cores, North Island, New Zealand. *Geology* 32: 653-656.
- Gregoire, L., Payne, A. & Valdes, P. 2012. Deglacial rapid sea level rises caused by ice-sheet saddle collapses. *Nature* 487: 219-222.
- Groucutt, H. S., Carleton, W. C., Fenech, K., Gauci, R., Grima, R., Scerri, E. M. L., Stewart, M. & Vella, N. C. 2022. The 4.2 ka Event and the End of the Maltese “Temple Period”. *Frontiers in Earth Science* 9: 771683.
- Guo, L., Xiong, S., Ding, Z., Jin, G., Wu, J. & Ye, W. 2018. Role of the mid-Holocene environmental transition in the decline of late Neolithic cultures in the deserts of NE China. *Quaternary Science Reviews* 190: 98-113.
- Hamanaka, N., Kan, H., Yokoyama, Y., Okamoto, T., Nakashima, Y. & Kawana, T. 2012. Disturbances with hiatuses in high-latitude coral reef growth during The Holocene: Correlation with millennial-scale global climate change. *Global and Planetary Change* 80-81: 21-35.
- Hassan, F. A., Hamdan, M. A., Flower, R. J., Shallaly, N. A. & Ebrahim, E. 2017. Holocene alluvial history and archaeological significance of the Nile floodplain in the Saqqara-Memphis region, Egypt. *Quaternary Science Reviews* 176: 51-70.
- He, K., Lu, H., Sun, G., Ji, X., Wang, Y., Yan, K., Zuo, X., Zhang, J., Liu, B. & Wang, N. 2021. Multi-proxy evidence of environmental change related to collapse of the Liangzhu Culture in the Yangtze Delta, China. *Science China Earth Sciences* 64: 890-905.
- He, K., Lu, H., Jin, G., Wang, C., Zhang, H., Zhang, J., Xu, D., Shen, C., Wu, N. & Guo, Z. 2022. Antipodal pattern of millet and rice demography in response to 4.2 ka climate event in China. *Quaternary Science Reviews* 295: 107786.
- Helama, S. 2024. The 4.2 ka event: A review of palaeoclimate literature and directions for future research. *The Holocene* 34: 1408-1415.
- 平林頌子・横山祐典. 2020. 完新統/完新世の細分と気候変動. 第四紀研究 59: 129-157.
- Hoffman, J. S., Carlson, A. E., Winsor, K., Klinkhammer, G. P., LeGrande, A. N., Andrews, J. T. & Strasser, J. C. 2012. Linking the 8.2 ka event and its freshwater forcing in the Labrador Sea. *Geophysical Research Letters* 39: L18703.
- Hong, Y. T., Hong, B., Lin, Q. H., Zhu, Y. X., Shibata, Y., Hirota, M., Uchida, M., Leng, X. T., Jiang, H. B., Xu, H., Wang, H. & Yi, L. 2003. Correlation between Indian Ocean summer monsoon and North Atlantic climate during The Holocene. *Earth and Planetary Science Letters* 211: 371-380.
- Hou, J., Huang, Y., Zhao, J., Liu, Z., Colman, S. & An, Z. 2016. Large Holocene summer temperature oscillations and impact on the peopling of the northeastern Tibetan Plateau. *Geophysical Research Letters* 43: 1323-1330.
- Huang, X., Xiang, L., Lei, G., Sun, M., Qiu, M., Storozum, M., Huang, C., Munkhbayar, C., Demberel, O., Zhang, J., Zhang, J., Chen, X., Chen, J. & Chen, F. 2021. Sedimentary Pediastrum record of middle-late Holocene temperature change and its impacts on early human culture in the desert-oasis area of northwestern China. *Quaternary Science Reviews* 265: 107054.
- Jian, Z., Wang, P., Saito, Y., Wang, J., Pflaumann, U., Oba, T. & Cheng, X. 2000. Holocene variability of the Kuroshio Current in the Okinawa Trough, northwestern Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters* 184: 305-319.
- Johnsen, S. J., Dahl - Jensen, D., Gundestrup, N., Steffensen, J. P., Clausen, H. B., Miller, H., Masson-Delmotte, V., Sveinbjörnsdóttir, A. E. & White, J. 2001. Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice - core stations: Camp Century, Dye - 3, GRIP, GISP2, Renland and North-GRIP. *Journal of Quaternary Science* 16: 299-307.
- Kagan, E. J., Langgut, D., Boaretto, E., Neumann, F. H. & Stein, M. 2015. Dead Sea levels during the Bronze and Iron ages. *Radiocarbon* 57: 237-252.
- Kajita, H., Kawahata, H., Wang, K., Zheng, H., Yang, S., Ohkouchi, N., Utsunomiya, M., Zhou, B. & Zheng, B. 2018. Extraordinary cold episodes during the mid-Holocene in the Yangtze delta: Interruption of the earliest rice cultivating civilization. *Quaternary Science Reviews* 201:

- 418–428.
- Kajita, H., Isaji, Y., Kato, R., Nishikura, Y., Murayama, M., Ohkouchi, N., Yang, S., Zheng, H., Wang, K., Nakaniishi, T., Sasaki, T., Maeda, A., Suzuki, A., Yamanaka, T. & Kawahata, H. 2022. Climatic change around the 4.2 ka event in coastal areas of the East China Sea and its potential influence on prehistoric Japanese people. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 609: 111310.
- Kaniewski, D., Van Campo, E., Morhange, C., Guiot, J., Zviely, D., Shaked, I., Otto, T. & Artzy, M. 2013. Early urban impact on Mediterranean coastal environments. *Scientific Reports* 3: 3540.
- Kaniewski, D., Marriner, N., Ilan, D., Morhange, C., Thareani, Y. & Van Campo, E. 2017. Climate change and water management in the biblical city of Dan. *Science Advances* 3: e1700954.
- Kaniewski, D., Marriner, N., Cheddadi, R., Guiot, J. & Van Campo, E. V. 2018. The 4.2 ka BP event in the Levant. *Climate of the Past* 14: 1529–1542.
- Kathayat, G., Cheng, H., Sinha, A., Yi, L., Li, X., Zhang, H., Li, H., Ning, Y. & Edwards, R. L. 2017. The Indian monsoon variability and civilization changes in the Indian subcontinent. *Science Advances* 3: e1701296.
- Kathayat, G., Cheng, H., Sinha, A., Berkelhammer, M., Zhang, H., Duan, P., Li, H., Li, X., Ning, Y. & Edwards, R. L. 2018. Evaluating the timing and structure of the 4.2ka event in the Indian summer monsoon domain from an annually resolved speleothem record from Northeast India. *Climate of the Past* 14: 1869–1879.
- Kawahata, H. 2019. Climatic reconstruction at the Sannai-Maruyama site between Bond events 4 and 3—implication for the collapse of the society at 4.2 ka event. *Progress in Earth and Planetary Science* 6: 63.
- Kawahata, H., Yamamoto, H., Ohkushi, K., Yokoyama, Y., Kimoto, K., Ohshima, H. & Matsuzaki, H. 2009. Changes of environments and human activity at the Sannai-Maruyama ruins in Japan during the mid-Holocene Hypsithermal climatic interval. *Quaternary Science Reviews* 28: 964–974.
- 北本市教育委員会, 編. 2019. デーナタメ遺跡総括報告書 (第1・2分冊). 670 pp. 埼玉県北本市教育委員会, 北本.
- Kleiven, H. F., Kissel, C., Laj, C., Ninnemann, U. S., Richter, T. O. & Cortijo, E. 2008. Reduced North Atlantic deep water coeval with the glacial Lake Agassiz freshwater outburst. *Science* 319: 60–64.
- 小林謙一. 2017. 縄文時代の実年代—土器型式編年と炭素14年代—. 263 pp. 同成社, 東京.
- 小林謙一. 2019. 縄文時代の実年代講座. 215 pp. 同成社, 東京.
- Koizumi, I. 2008. Diatom-derived SSTs ( $Td'$  ratio) indicate warm seas off Japan during the middle Holocene (8.2–3.3 kyr BP). *Marine Micropaleontology* 69: 263–281.
- Kudo, Y. 2007. The temporal correspondences between the archaeological chronology and environmental changes from 11,500 to 2,800 cal BP on the Kanto Plain, Eastern Japan. *The Quaternary Research* 46: 187–194.
- 工藤雄一郎. 2012. 旧石器・縄文時代の環境文化史：高精度放射性炭素年代測定と考古学. 373 pp. 新泉社, 東京.
- 工藤雄一郎・佐々木由香・坂本 稔・小林謙一・松崎浩之. 2007. 東京都下宅部遺跡から出土した縄文時代後半期の植物利用に関連する 遺構・遺物の年代学的研究. 植生史研究 15: 5–17.
- Langgut, D., Neumann, F. H., Stein, M., Wagner, A., Kagan, E. J., Boaretto, E. & Finkelstein, I. 2014. Dead Sea pollen record and history of human activity in the Judean Highlands (Israel) from the Intermediate Bronze into the Iron Ages (~2500–500 BCE). *Palynology* 38: 280–302.
- Langgut, D., Finkelstein, I., Litt, T., Neumann, F. H. & Stein, M. 2015. Vegetation and climate changes during the Bronze and Iron Ages (~3600–600 BCE) in the southern Levant based on palynological records. *Radiocarbon* 57: 217–235.
- Lawrence, D., Palmisano, A. & de Gruchy, M. W. 2021. Collapse and continuity: A multi-proxy reconstruction of settlement organization and population trajectories in the Northern Fertile Crescent during the 4.2kya Rapid Climate Change event. *PLoS ONE* 16(1): e0244871.
- Lechleitner, F. A., Breitenbach, S. F. M., Rehfeld, K., Ridley, H. E., Asmerom, Y., Prufer, K. M., Marwan, N., Goswami, B., Kennett, D. J., Aquino, V. V., Polyak, V., Haug, G. H., Eglinton, T. I. & Baldini, J. U. L. 2017. Tropical rainfall over the last two millennia: evidence for a low-latitude hydrologic seesaw. *Scientific Reports* 7: 45809.
- Li, J. 2015. The landscape of China's participation in the Bronze age Eurasian network. *Journal of World Prehistory* 28: 179–213.
- Li, C.-H., Li, Y.-X., Zheng, Y.-F., Yu, S.-Y., Tang, L.-Y., Li, B.-B. & Cui, Q.-Y. 2018. A high-resolution pollen record from East China reveals large climate variability near the Northgrippian-Meghalayan boundary (around 4200 years ago) exerted societal influence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 512: 156–165.
- Lin, J., Jiang, W., Wang, L., Zhang, E., Tang, L., Yang, X., Chu, G., Yang, S. & Xiao, J. 2022. Spatially diverse hydroclimatic response to the 4.2 ka event in the Asian monsoon region. *Quaternary Science Reviews* 296: 107809.
- Liu, F. & Feng, Z. 2012. A dramatic climatic transition at ~4000 cal. yr BP and its cultural responses in Chinese cultural domains. *The Holocene* 22: 1181–1197.
- Liu, F., Zhang, Y., Feng, Z., Hou, G., Zhou, Q. & Zhang, H. 2010. The impacts of climate change on the Neolithic

- cultures of Gansu-Qinghai region during the late Holocene Megathermal. *Journal of Geographical Sciences* 20: 417–430.
- Liu, X., Chen, J., Chen, S., Wang, H., Huang, W., Feng, S. & Chen, F. 2023. Abrupt climate change in arid central Asia during The Holocene: A review. *Earth-Science Reviews* 242: 104450.
- Long, T., Leipe, C., Jin, G., Wagner, M., Guo, R., Schröder, O. & Tarasov, P. E. 2018. The early history of wheat in China from <sup>14</sup>C dating and Bayesian chronological modelling. *Nature Plants* 4: 272–279.
- López-Sáez, J. A., Pérez-Díaz, S., Rodríguez-Ramírez, A., Blanco-González, A., Villariás-Robles, J. J. R., Luellmo-Lautenschlaeger, R., Jiménez-Moreno, G., Celestino-Pérez, S., Cerrillo-Cuenca, E., Pérez-Asensio, J. N. & León, Á. 2018. Mid-late Holocene environmental and cultural dynamics at the south-west tip of Europe (Doñana National Park, SW Iberia, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports* 22: 58–78.
- Maley, J. & Vernet, R. 2015. Populations and climatic evolution in north tropical Africa from the end of the Neolithic to the dawn of the Modern era. *African Archaeological Review* 32: 179–232.
- Manning, S. W., Lorentzen, B., Welton, L., Batiuk, S. & Harrison, T. P. 2020. Beyond megadrought and collapse in the Northern Levant: The chronology of Tell Tayinat and two historical inflection episodes, around 4.2 ka BP, and following 3.2ka BP. *PLoS ONE* 15(10): e0240799.
- Marchant, R. & Hooghiemstra, H. 2004. Rapid environmental change in African and South American tropics around 4000 years before present: a review. *Earth-Science Reviews* 66: 217–260.
- Marshall, M. H., Lamb, H. F., Huws, D., Davies, S. J., Bates, R., Bloemendal, J., Boyle, J., Leng, M. J., Umer, M. & Bryant, C. 2011. Late Pleistocene and Holocene drought events at Lake Tana, the source of the Blue Nile. *Global and Planetary Change* 78: 147–161.
- Masson-Delmotte, V., Landais, A., Stievenard, M., Cattani, O., Falourd, S., Jouzel, J., Johnsen, S. J., Dahl-Jensen, D., Sveinbjornsdottir, A., White, J. W. C., Popp, T. & Fischer, H. 2005. Holocene climatic changes in Greenland: Different deuterium excess signals at Greenland Ice Core Project (GRIP) and NorthGRIP. *Journal of Geophysical Research* 110: D14102.
- Matero, I. S. O., Gregoire, L. J., Ivanovic, R. F., Tindall, J. C. & Haywood, A. M. 2017. The 8.2 ka cooling event caused by Laurentide ice saddle collapse. *Earth and Planetary Science Letters* 473: 205–214.
- 松島義章. 2010. 完新世における温暖種が示す対馬暖流の脈動. *第四紀研究* 49: 1–10.
- Mayewski, P. A., Rohling, E. E., Stager, J. C., Karlén, W., Maasch, K. A., Meeker, L. D., Meyerson, E. A., Gasse, F., van Kreveld, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R. R. & Steig, E. J. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62: 243–255.
- McKay, N. P., Kaufman, D. S., Arcusa, S. H., Kolus, H. R., Edge, D. C., Erb, M. P., Hancock, C. L., Routson, C. C., Żarczyński, M., Marshall, L. P., Roberts, G. K. & Telles, F. 2024. The 4.2 ka event is not remarkable in the context of Holocene climate variability. *Nature Communications* 15: 6555.
- Menounos, B., Clague, J. J., Osborn, G., Luckman, B. H., Lakeman, T. R. & Minkus, R. 2008. Western Canadian glaciers advance in concert with climate change circa 4.2 ka. *Geophysical Research Letters* 35: L07501.
- Merrill, W. L., Hard, R. J., Mabry, J. B., Fritz, G. J., Adams, K. R., Roney, J. R. & MacWilliams, A. C. 2009. The diffusion of maize to the southwestern United States and its impact. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A. (PNAS)* 106: 21019–21026.
- Morrill, C., Anderson, D. M., Bauer, B. A., Buckner, R., Gille, E. P., Gross, W. S., Hartman, M. & Shah, A. 2013. Proxy benchmarks for intercomparison of 8.2 ka simulations. *Climate of the Past* 9: 423–432.
- Morrill, C., Ward, E. M., Wagner, A. J., Otto-Bliesner, B. L. & N. Rosenbloom. 2014. Large sensitivity to freshwater forcing location in 8.2 ka simulations. *Paleoceanography* 29: 930–945.
- Nakamura, A., Yokoyama, Y., Maemoku, H., Yagi, H., Okamura, M., Matsuoka, H., Miyake, N., Osada, T., Adhikari, D. P., Dangol, V., Ikehara, M., Miyairi, Y. & Matsuzaki, H. 2016. Weak monsoon event at 4.2 ka recorded in sediment from Lake Rara, Himalayas. *Quaternary International* 397: 349–359.
- 中村慎一. 2025. 4.2 ka イベントと中国文明の形成. 「空間と環境の古代東アジア世界史」(中村慎一・渡辺展也・小林正史・菊澤律子・大川裕子・村松弘一編), 9–20. 勉誠社, 東京.
- Nan, Q., Chen, S., Liu, X., Ma, S., Sun, Y., Huang, L., Chen, J., Luterbacher, J., Meadows, M. E. & Chen, F. 2025. The 4.2 ka event in the Northern Hemisphere: Spatial heterogeneity and driving mechanisms of hydroclimatic change. *Earth-Science Reviews* 265: 105128.
- 能城修一・佐々木由香. 2014. 遺跡出土植物遺体からみた縄文時代の森林資源利用. 国立歴史民族博物館研究報告 No. 187: 15–48.
- Noshiro, S., Sasaki, Y., Yoshikawa, M., Kudo, Y. & Bhandari, S. 2025. Survival during the 4.2 ka event by Jomon hunter-gatherers with management and use of plant resources at the Denotame site in central Japan. *Vegetation History and Archaeobotany* 34: 685–699.
- Okazaki, Y., Onodera, J., Tanizaki, K., Nishizono, F., Egashira, K., Tomokawa, A., Sagawa, T., Horikawa, K. & Ikehara, K. 2024. Silicoflagellate assemblages in the North Pacific surface sediments: an application of the modern analog method to reconstruct the glacial sea surface temperature in the Japan Sea. *Progress in Earth and Plan-*

- etary Science* 11: 62.
- Ön, Z.B., Greaves, A.M., Akçer-Ön, S. & Özeren, M. S. 2021. A Bayesian test for the 4.2 ka BP abrupt climatic change event in southeast Europe and southwest Asia using structural time series analysis of paleoclimate data. *Climate Change* 165: 7.
- Orme, L. C., Miettinen, A., Divine, D., Husum, K., Pearce, C., van Nieuwenhove, N., Born, A., Mohan, R. & Seidenkrantz, M.-S. 2018. Subpolar North Atlantic sea surface temperature since 6 ka BP: Indications of anomalous ocean - atmosphere interactions at 4.2 ka BP. *Quaternary Science Reviews* 194: 128–142.
- Park, J., Park, J., Yi, S., Kim, J. C., Lee, E. & Choi, J. 2019. Abrupt Holocene climate shifts in coastal East Asia, including the 8.2 ka, 4.2 ka, and 2.8 ka BP events, and societal responses on the Korean peninsula. *Scientific Reports* 9: 10806.
- Parker, S. E. & Harrison, S. P. 2022. The timing, duration and magnitude of the 8.2 ka event in global speleothem records. *Scientific Reports* 12: 10542.
- Peck, V. L., Allen, C. S., Kender, S., McClymont, E. L. & Hodgson, D. A. 2015. Oceanographic variability on the West Antarctic Peninsula during The Holocene and the influence of upper circumpolar deep water. *Quaternary Science Reviews* 119: 54–65.
- Pennington, B. T., Hamdan, M. A., Pears, B. R. & Sameh, H. I. 2019. Aridification of the Egyptian Sahara 5000–4000 cal BP revealed from x-ray fluorescence analysis of Nile Delta sediments at Kom al-Ahmer/Kom Wasit. *Quaternary International* 514: 108–118.
- Petrie, C. A., Singh, R. N., Bates, J., Dixit, Y., French, C. A. I., Hodell, D. A., Jones, P. J., Lancelotti, C., Lynam, F., Neogi, S., Pandey, A. K., Parikh, D., Pawar, V., Redhouse, D. I. & Singh, D. P. 2017. Adaptation to variable environments, resilience to climate change: Investigating land, water and settlement in Indus Northwest India. *Current Anthropology* 58: 1–30.
- 秦小光・张磊・穆燕. 2015. 中国东部南北方过渡带淮河半湿润区全新世气候变化. *第四纪研究* 35: 1509–1524.
- Railsback, L. B., Liang, F., Brook, G. A., Voarintsoa, N. R. G., Sletten, H. R., Marais, E., Hardt, B., Cheng, H. & Edwards, R. L. 2018. The timing, two-pulsed nature, and variable climatic expression of the 4.2 ka event: A review and new high-resolution stalagmite data from Namibia. *Quaternary Science Reviews* 186 (April): 78–90.
- Railsback, L. B., Liang, F., Brook, G. A., Cheng, H. & Edwards, R. L. 2022. Additional multi-proxy stalagmite evidence from northeast Namibia supports recent models of wetter conditions during the 4.2 ka Event in the Southern Hemisphere. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 586: 110756.
- Ran, M. & Chen, L. 2019. The 4.2 ka BP climatic event and its cultural responses. *Quaternary International* 521: 158–167.
- Rasmussen, S. O., Andersen, K. K., Svensson, A. M., Steffensen, J. P., Vinther, B. M., Clausen, H. B., Siggaard-Andersen, M.-L., Johnsen, S. J., Larsen, L. B., Dahl-Jensen, D., Bigler, M., Röthlisberger, R., Fischer, H., Goto-Azuma, K., Hansson, M. E. & Ruth, U. 2006. A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. *Journal of Geophysical Research* 111: D06102.
- Rasmussen, S. O., Vinther, B. M., Clausen, H. B. & Andersen, K. K. 2007. Early Holocene climate oscillations recorded in three Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews* 26: 1907–1914.
- Renssen, H. 2022. Climate model experiments on the 4.2 ka event: The impact of tropical sea-surface temperature anomalies and desertification. *The Holocene* 32: 378–389.
- Ricketts, R. D. & Johnson, T. C. 1996. Climate change in the Turkana basin as deduced from a 4000 year long  $\delta^{18}\text{O}$  record. *Earth and Planetary Science Letters* 142: 7–17.
- Roffet-Salque, M., Marciniak, A., Valdes, P. J., Pawłowska, K., Pyzel, J., Czerniak, L., Krüger, M., Roberts, C. N., Pitter, S. & Evershed, R. P. 2018. Evidence for the impact of the 8.2-kyBP climate event on Near Eastern early farmers. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A. (PNAS)* 115: 8705–8709.
- Ruan, J., Kherbouche, F., Genty, D., Blamart, D., Cheng, H., Dewilde, F., Hachi, S., Edwards, R. L., Régnier, E. & Michelot, J.-L. 2016. Evidence of a prolonged drought ca. 4200 yr BP correlated with prehistoric settlement abandonment from the Gueldaman GLD1 Cave, northern Algeria. *Climate of the Past* 12: 1–14.
- Rush, G., Garrett, E., Bateman, M. D., Bigg, G. R., Hibbert, F. D., Smith, D. E. & Gehrels, W. R. 2023. The magnitude and source of meltwater forcing of the 8.2 ka climate event constrained by relative sea-level data from eastern Scotland. *Quaternary Science Advances* 12: 100119.
- Russell, J. M. & Johnson, T. C. 2005. A high-resolution geochemical record from Lake Edward, Uganda Congo and the timing and causes of tropical African drought during the late Holocene. *Quaternary Science Reviews* 24: 1375–1389.
- Russell, J. M., Johnson, T. C. & Talbot, M. R. 2003. A 725 yr cycle in the climate of central Africa during the late Holocene. *Geology* 31: 677–680.
- Sandeep, K., Shankar, R., Warriar, A. K., Yadava, M. G., Ramesh, R., Jani, R. A., Weijian, Z. & Lu, X. 2017. A multi-proxy lake sediment record of Indian summer monsoon variability during The Holocene in southern India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 476: 1–14.
- 佐々木由香・工藤雄一郎・百原 新. 2007. 東京都下宅部遺跡の大型植物遺体からみた縄文時代後半期の植物資源利用. *植生史研究* 15: 35–50.
- Schimpf, D., Kilian, R., Kronz, A., Simon, K., Spötl, C., Wörner, G., Deininger, M. & Mangini, A. 2011. The sig-

- nificance of chemical, isotopic, and detrital components in three coeval stalagmites from the superhumid southernmost Andes (53°S) as high-resolution palaeoclimate proxies. *Quaternary Science Reviews* 30: 443–459.
- Scroxton, N. & McKay, N. 2024. The hunt for Holocene abrupt climate change. *PLOS Climate* 3: e0000547.
- Scroxton, N., Burns, S. J., McGee, D., Godfrey, L. R., Ranivoharimanana, L., Faina, P. & Tiger, B. H. 2023. Tropical Indian Ocean basin hydroclimate at the Mid- to Late-Holocene transition and the double drying hypothesis. *Quaternary Science Reviews* 300: 107837.
- Seki, A., Yokoyama, Y., Suzuki, A., Kawakubo, Y., Okai, T., Miyairi, Y., Matsuzaki, H., Namizaki, N. & Kan, H. 2012. Mid-Holocene sea-surface temperature reconstruction using fossil corals from Kume Island, Ryukyu, Japan. *Geochemical Journal* 46: e27–e32.
- Smith, B. D. 2017. Tracing the initial diffusion of maize in North America. “*Human Dispersal and Species Movement: From Prehistory to the Present*” (Boivin, H., Crassard, R. & Petraglia, M., eds.), 332–348. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sone, T., Kano, A., Okumura, T., Kashiwagi, K., Hori, M., Jiang, X. & Shen, C.-C. 2013. Holocene stalagmite oxygen isotopic record from the Japan Sea side of the Japanese Islands, as a new proxy of the East Asian winter monsoon. *Quaternary Science Reviews* 75: 150–160.
- Stanley, J.-D., Krom, M. D., Cliff, R. A. & Woodward, J. C. 2003. Nile flow failure at the end of the Old Kingdom, Egypt: Strontium isotopic and petrologic evidence. *Geoarchaeology* 18: 395–402.
- Staubwasser, M., Sirocko, F., Grootes, P. M. & Segl, M. 2003. Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus valley civilization and Holocene south Asian monsoon variability. *Geophysical Research Letters* 30: 1425.
- Steffensen, J. P., Andersen, K. K., Bigler, M., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Fischer, H., Goto-Azuma, K., Hansson, M., Johnsen, S. J., Jouzel, J., Masson-Delmotte, V., Popp, T., Rasmussen, S. O., Röthlisberger, R., Ruth, U., Stauffer, B., Siggaard-Andersen, M.-L., Sveinbjörnsdóttir, Á. E., Svensson, A. & White, J. W. C. 2008. High-resolution Greenland ice core data show abrupt climate change happens in few years. *Science* 321: 680–684.
- Tan, L., Cai, Y., Cheng, H., Edwards, L. R., Gao, Y., Xu, H., Zhang, H. & An, Z. 2018. Centennial- to decadal-scale monsoon precipitation variations in the upper Hanjiang River region, China over the past 6650 years. *Earth and Planetary Science Letters* 482: 580–590.
- Tan, L., Dong, G., An, Z., Edwards, R. L., Li, H., Li, D., Spengler, R., Cai, Y., Cheng, H., Lan, J., Orozbaev, R., Liu, R., Chen, J., Xu, H. & Chen, F. 2021. Megadrought and cultural exchange along the proto-silk road. *Science Bulletin* 66: 603–611.
- Tanabe, S. 2022. A 3-kyr plateau of middle Holocene higher sea levels on the central Kanto Plain, Japan. *Quaternary Science Reviews* 295: 107769.
- Thomas, E. R., Wolff, E. W., Mulvaney, R., Steffensen, J. P., Johnsen, S. J., Arrowsmith, C., White, J. W. C., Vaughn, B. & Popp, T. 2007. The 8.2ka event from Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews* 26: 70–81.
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E. & Henderson, K. A. 2000. Ice-core palaeoclimate records in tropical South America since the Last Glacial Maximum. *Journal of Quaternary Science* 15: 377–394.
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M. E., Henderson, K. A., Brecher, H. H., Zagorodnov, V. S., Mashio-tta, T. A., Lin, P.-N., Mikhailenko, V. N., Hardy, D. R. & Beer, J. 2002. Kilimanjaro Ice Core Records: Evidence of Holocene climate change in tropical Africa. *Science* 298: 589–593.
- Torrescano-Valle, N. & Islebe, G. A. 2015. Holocene paleoecology, climate history and human influence in the southwestern Yucatan Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology* 217: 1–8.
- Toth, L. T. & Aronson, R. B. 2019. The 4.2ka event, ENSO, and coral reef development. *Climate of the Past* 15: 105–119.
- 辻 誠一郎. 1989. 開析谷の遺跡とそれを取りまく古環境復元: 関東平野中央部の川口市赤山陣屋跡遺跡における完新世の古環境. *第四紀研究* 27: 331–356.
- 辻 誠一郎・中村俊夫. 2001. 縄文時代の高精度編年: 三内丸山遺跡の年代測定. *第四紀研究* 40: 471–484.
- Uchiyama, J., Kuwahata, M., Riede, F. & Jordan, P. D. 2025. Exploring the environmental and cultural consequences of the 8.2 ka cooling event in Kyushu, Southwestern Japan. *Quaternary Environments and Humans* 3: 100081.
- 植村 立. 2007. 水の安定同位体比による古気温推定の研究—極域氷床コアからの数千年スケールの気候変動の復元—. *第四紀研究* 46: 147–164.
- Ujiié, Y., Ujiié, H., Taira, A., Nakamura, T. & Oguri, K. 2003. Spatial and temporal variability of surface water in the Kuroshio source region, Pacific Ocean, over the past 21,000 years: evidence from planktonic foraminifera. *Marine Micropaleontology* 49: 335–364.
- van der Plicht, J., Akkermans, P. M. M. G., Nieuwenhuys, O., Kaneda, A. & Russell, A. 2011. Tell Sabi Abyad, Syria: Radiocarbon chronology, cultural change, and the 8.2 ka event. *Radiocarbon* 53: 229–243.
- Vinther, B. M., Clausen, H. B., Johnsen, S. J., Rasmussen, S. O., Andersen, K. K., Buchardt, S. L., Dahl-Jensen, D., Seierstad, I. K., Siggaard-Andersen, M.-L., Steffensen, J. P., Svensson, A., Olsen, J. & Heinemeier, J. 2006. A synchronized dating of three Greenland ice cores throughout The Holocene. *Journal of Geophysical Research* 111: D13102.
- Walker, M., Head, M. J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L., Fisher, D., Gkinis, V., Long, A., Lowe, J., Newnham, R., Rasmussen, S. O. & Weiss, H. 2018. Formal ratification of the subdivision of The Holo-

- cene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Episodes* 41: 213–223.
- Walker, M., Head, M. J., Lowe, J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L. C., Fisher, D., Gkinis, V., Long, A., Newnham, R., Rasmussen, S. O. & Weiss, H. 2019. Subdividing The Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes. *Journal of Quaternary Science* 34: 173–186.
- Wang, Y., Cheng, H., Edwards, R. L., He, Y., Kong, X., An, Z., Wu, J., Kelly, M. J., Dykoski, C. A. & Li, X. 2005. The Holocene Asian Monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate. *Science* 308: 854–857.
- Wang, X., Edwards, R. L., Auler, A. S., Cheng, H. & Ito, E. 2007. Millennial-scale interhemispheric asymmetry of low-latitude precipitation: Speleothem evidence and possible high-latitude forcing. *Geophysical Monograph Series* 173: 279–293.
- Wang, L.-B., Yang, Z.-S., Zhang, R.-P., Fan, D.-J., Zhao, M.-X. & Hu, B.-Q. 2011. Sea surface temperature records of core ZY2 from the central mud area in the South Yellow Sea during last 6200 years and related effect of the Yellow Sea Warm Current. *Chinese Science Bulletin* 56: 1588–1595.
- Wang, K., Zheng, H., Tada, R., Irino, T., Zheng, Y., Saito, K. & Karasuda, A. 2014. Millennial-scale East Asian Summer Monsoon variability recorded in grain size and provenance of mud belt sediments on the inner shelf of the East China Sea during mid-to late Holocene. *Quaternary International* 349: 79–89.
- Wang, J., Sun, L., Chen, L., Xu, L., Wang, Y. & Wang, X. 2016. The abrupt climate change near 4,400 yr BP on the cultural transition in Yuchisi, China and its global linkage. *Scientific Reports* 6: 27723.
- Wang, Z., Ryves, D. B., Lei, S., Nian, X., Lv, Y., Tang, L., Wang, L., Wang, J. & Chen, J. 2018. Middle Holocene marine flooding and human response in the south Yangtze coastal plain, East China. *Quaternary Science Reviews* 187: 80–93.
- Wang, H., Li, K., Liao, M., Ye, W., Zhang, Y. & Ni, J. 2023. Climatic variability during the 4.2 ka event: Evidence from a high-resolution pollen record in southeastern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 627: 111739.
- Wanner, H., Mercolli, L., Grosjean, M. & Ritz, S. P. 2015. Holocene climate variability and change; a data - based review. *Journal of the Geological Society* 172: 254–263.
- Weiss, H. 2017a. 4.2 ka BP megadrought and the Akkadian collapse. “*Megadrought and Collapse: From Early Agriculture to Angkor*” (Weiss, H., ed.), 93–160. Oxford University Press, Oxford.
- Weiss, H. 2017b. Seventeen kings who lived in tents. “*The Late Third Millennium in the Ancient Near East: Chronology C14 and Climate Change*” (Höflmayer, F., ed.), 131–162. Oriental Institute of the University of Chicago, Chicago.
- Weiss, H., Courty, M.-A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Senior, L., Meadow, R. & Curnow, A. 1993. The genesis and collapse of third millennium north Mesopotamian civilization. *Science* 261: 995–1004.
- Wen, R., Xiao, J., Chang, Z., Zhai, D., Xu, Q., Li, Y., Itoh, S. & Lomtadze, Z. 2010. Holocene climate changes in the mid-high-latitude-monsoon margin reflected by the pollen record from Hulun Lake, northeastern Inner Mongolia. *Quaternary Research* 73: 293–303.
- Wen, R., Xiao, J., Fan, J., Zhang, S. & Yamagata, H. 2017. Pollen evidence for a mid-Holocene East Asian summer monsoon maximum in northern China. *Quaternary Science Reviews* 176: 29–35.
- Weninger, B., Alram-Stern, E., Bauer, E., Clare, L., Danzeglocke, U., Jöris, O., Kubatzki, C., Rollefson, G., Todorova, H. & van Andel, T. 2006. Climate forcing due to the 8200 cal yr BP event observed at early Neolithic sites in Eastern Mediterranean. *Quaternary Research* 66: 401–420.
- Wu, W. & Liu, T. 2004. Possible role of The Holocene Event 3 on the collapse of Neolithic cultures around the central plains of China. *Quaternary International* 117: 153–166.
- Wu, P., Xiao, X.-T., Tao, S.-Q., Yang, Z.-S., Zhang, H.-L., Li, L. & Zhao, M.-X. 2016. Biomarker evidence for changes in terrestrial organic matter input into the Yellow Sea mud area during The Holocene. *Science China Earth Sciences* 59: 1216–1224.
- Xia, Z., Wang, Z. & Zhao, Q. 2004. Extreme flood events and climate change around 3500 aBP in the Central Plains of China. *Science in China, Series D: Earth Sciences* 47: 599–606.
- Xiao, J., Xu, Q., Nakamura, T., Yang, X., Liang, W. & Inouchi, Y. 2004. Holocene vegetation variation in the Daihai Lake region of north-central China: a direct indication of the Asian monsoon climatic history. *Quaternary Science Reviews* 23: 1669–1679.
- Xiao, J., Zhang, S., Fan, J., Wen, R., Zhai, D., Tian, Z. & Jiang, D. 2018. The 4.2 ka BP event: multi-proxy records from a closed lake in the northern margin of the East Asian summer monsoon. *Climate of the Past* 14: 1417–1425.
- Xiao, J., Zhang, S., Fan, J., Wen, R., Xu, Q., Inouchi, Y. & Nakamura, T. 2019. The 4.2 ka event and its resulting cultural interruption in the Daihai Lake basin at the East Asian summer monsoon margin. *Quaternary International* 527: 87–93.
- Xu, Q., Xiao, J., Li, Y., Tian, F. & Nakagawa, T. 2010. Pollen-based quantitative reconstruction of Holocene climate changes in the Daihai Lake area, Inner Mongolia, China. *Journal of Climate* 23: 2856–2868.

- Yamamoto, M., Kikuchi, T., Sakurai, H., Hayashi, R., Seki, O., Omori, T., Sulaiman, A., Shaari, H., Abdullah, M. Z. & Melling L. 2021. Tropical Western Pacific hydrology during the last 6,000 years based on wildfire charcoal records from Borneo. *Geophysical Research Letters* 48: e2021GL093832.
- Yan, M. & Liu, J. 2019. Physical processes of cooling and mega-drought during the 4.2kaBP event: results from TraCE-21ka simulations. *Climate of the Past* 15: 265–277.
- Yang, T.-N., Lee, T.-Q., Meyers, P. A., Song, S.-R., Kao, S.-J., Löwemark, L., Chen, R.-F., Chen, H.-F., Wei, K.-Y., Fan, C.-W., Shiau, L.-J., Chiang, H.-W., Chen, Y.-G. & Chen, M.-T. 2011. Variations in monsoonal rainfall over the last 21 kyr inferred from sedimentary organic matter in Tung-Yuan Pond, southern Taiwan. *Quaternary Science Reviews* 30: 3413–3422.
- Yang, B., Qin, C., Bräuning, A., Osborn, T. J., Trouet, V., Ljungqvist, F. C., Esper, J., Schneider, L., Grieflinger, J., Büntgen, U., Rossi, S., Dong, G., Yan, M., Ning, L., Wang, J., Wang, X., Wang, S., Luterbacher, J., Cook, E. R. & Stenseth, N. C. 2021. Long-term decrease in Asian monsoon rainfall and abrupt climate change events over the past 6,700 years. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A. (PNAS)* 118(30): e2102007118.
- Yao, F., Ma, C., Zhu, C., Li, J., Chen, G., Tang, L., Huang, M., Jia, T. & Xu, J. 2017. Holocene climate change in the western part of Taihu Lake region, East China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 485: 963–973.
- 吉川昌伸. 1999a. 関東平野における過去 12,000 年間の環境変遷. 国立歴史民族博物館研究報告 No. 81: 267–287.
- 吉川昌伸. 1999b. 武蔵野台地東部の溜池遺跡における過去 6000 年間の植生変遷. 植生史研究 7: 47–58.
- 吉川昌伸・能城修一・工藤雄一郎・佐々木由香・森 将志・鈴木 茂. 2022. 関東平野中央部における縄文時代早期から晩期の植生と人為生態系の形成. 植生史研究 30: 5–22.
- You, H., Li, Y., Zhang, S., Ge, Y., Zhang, Z., Zhang, W., Wang, Y., Fan, B., Wang, R., Cao, Y. & Li, C. 2024. Climate and sea-level fluctuations on the western coast of Bohai Bay during the 4.2 ka event: Multi-proxy evidence from the Nandagang area of Cangzhou, China. *Quaternary Science Reviews* 324: 108467.
- Younes, M.A. & Bakry, A. 2022. The 4.2 ka BP climate event in Egypt: Integration of archaeological, geoarchaeological, and bioarchaeological evidence. *African Archaeological Review* 39: 315–344.
- Yuan, J., Campbell, R., Castellano, L. & Chen, X. 2020. Sub-sistence and persistence: agriculture in the Central Plains of China through the Neolithic to Bronze Age transition. *Antiquity* 94: 900–915.
- 张俊娜・夏正楷. 2011. 中原地区 4 ka BP 前后异常洪水事件的沉积证据. 地理学报 66: 685–697.
- Zhang, N., Yang, Y., Cheng, H., Zhao, J., Yang, X., Liang, S., Nie, X., Zhang, Y. & Edwards, R. L. 2018a. Timing and duration of the East Asian summer monsoon maximum during The Holocene based on stalagmite data from North China. *The Holocene* 28: 1631–1641.
- Zhang, H., Cheng, H., Cai, Y., Spötl, C., Kathayat, G., Sinha, A., Edwards, R. L. & Tan, L. 2018b. Hydroclimatic variations in southeastern China during the 4.2ka event reflected by stalagmite records. *Climate of the Past* 14: 1805–1817.
- Zhang, Y., Huang, C. C., Tan, Z., Chen, Y., Qiu, H., Huang, C., Li, Y., Zhang, Y., Li, X., Shulmeister, J., Patton, N., Liu, L., Zhu, Y. & Wang, N. 2019a. Prehistoric and historic overbank floods in the Luoyang Basin along the Luohe River, middle Yellow River basin, China. *Quaternary International* 521: 118–128.
- Zhang, Y., Zhou, X., He, Y., Jiang, Y., Liu, Y., Xie, Z., Sun, L. & Liu, Z. 2019b. Persistent intensification of the Kuroshio Current during late Holocene cool intervals. *Earth and Planetary Science Letters* 506: 15–22.
- Zhang, H., Cheng, H., Sinha, A., Spötl, C., Cai, Y., Liu, B., Kathayat, G., Li, H., Tian, Y., Li, Y., Zhao, J., Sha, L., Lu, J., Meng, B., Niu, X., Dong, X., Liang, Z., Zong, B., Ning, Y., Lan, J. & Edwards, R. L. 2021a. Collapse of the Liangzhu and other Neolithic cultures in the lower Yangtze region in response to climate change. *Science Advances* 7: eabi9275.
- Zhang, H., Zhang, X., Cai, Y., Sinha, A., Spötl, C., Baker, J., Kathayat, G., Liu, Z., Tian, Y., Lu, J., Wang, Z., Zhao, J., Jia, X., Du, W., Ning, Y., An, Z., Edwards, R. L. & Cheng, H. 2021b. A data-model comparison pinpoints Holocene spatiotemporal pattern of East Asian summer monsoon. *Quaternary Science Reviews* 261: 106911.
- Zhang, W., Chen, S., Shao, Q. & Chen, J. 2023. Hydroclimatic variation over central China during the 4.2 ka event and its implications for cultural transformation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 615: 111441.
- Zhu, Z., Feinberg, J. M., Xie, S., Bourne, M. D., Huang, C., Hu, C. & Cheng, H. 2017. Holocene ENSO-related cyclic storms recorded by magnetic minerals in speleothems of central China. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A. (PNAS)* 114: 852–857.

(2025年8月12日受理)