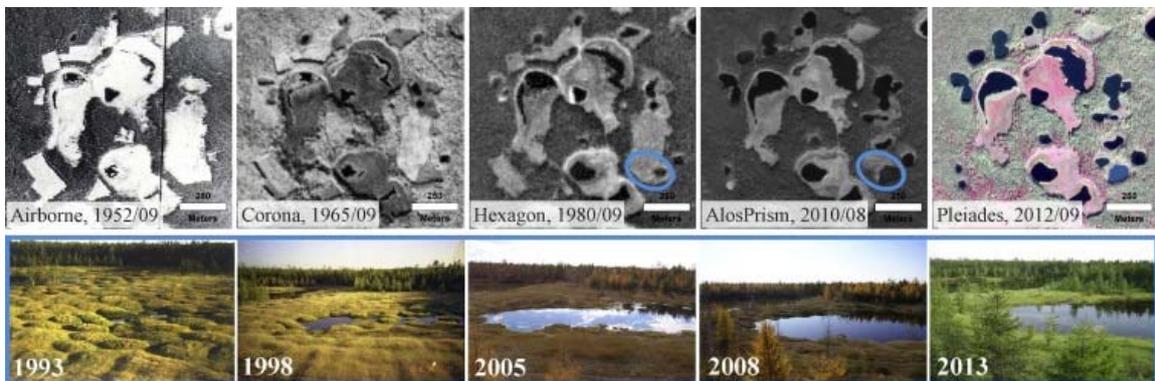


## 北極域永久凍土の人類文化 500 年史の解明 東シベリアにおける気候変動と社会文化の相互作用に関する国際共同研究

名古屋大学宇宙地球環境研究所(所長:草野 完也)の檜山 哲哉(ひやま てつや)教授、米国・ジョージメイソン大学のS. クレイト教授、ドイツ・ライプツィヒ大学のM. ウーリッヒ博士、同・ハンブルグ大学のJ.O. ハーベック教授、ロシア科学アカデミーシベリア支部永久凍土研究所のA.N. フォードロフ博士、三重大学の飯島 慈裕准教授、東北大学の高倉 浩樹教授らの国際共同研究チームは、東シベリア北極域に広がる永久凍土の人類文化 500 年史を解明するとともに、現在の地球温暖化が過去にない速さで永久凍土生態系と地域社会に影響を与えていることを明らかにしました。

本成果は、学術誌「Anthropocene」の第 18 巻に掲載されました。



ロシア連邦サハ共和国のユケチにおけるサーモカルスト地形の変遷。北方林(タイガ)が開墾・利用されていた 1950 年代から現在にかけて、気候変化にともなう凍土の融解により、湖沼域が拡大した。

## 【研究背景と内容】

永久凍土は人類の生存に否定的な影響をもたらすイメージがありますが、むしろ夏の融解期には植物に水をもたらし、東シベリアでは降水量が十分でなくても北方林(タイガ)の生育を可能にするなどの効果があります。本研究では、約七千～四千年前(完新世気候最温暖期)に始まる凍土融解によって形成された窪地(サーモカルスト地形)が、東シベリア北極域における人類の環境適応文化の形成に決定的影響を及ぼしたことを明らかにすると同時に、その自然環境条件が現在大きく変動していることを明らかにしました。

20世紀初頭までのシベリア先住民社会は狩猟採集・トナカイ飼育を基軸とする生業でしたが、このなかの中央アジア起源の先住民サハ人は13世紀以降に東シベリア・レナ川中流域に移動し、牛馬牧畜の導入に成功しました。この成功の理由として、彼らがサーモカルスト地形の草原生態系を積極的に利用したことにあることはこれまでも指摘されていましたが、サーモカルスト地形の起源や変化、そして住民の土地利用については不明でした。

今回本研究グループは、水文学・気象学などの自然科学と人類学を融合し、サーモカルスト地形の起源や変化、住民の土地利用について学際的にアプローチすることで、永久凍土の自然史と住民による土地改変を含む利用の長期的な相互作用を明らかにしました。そして、永久凍土の動態的条件が人類文化の多様性に貢献していることを明らかにしました。

ソ連時代には森林伐採による農地開発が加わることで凍土の融解が進みましたが、深刻なものではありませんでした。社会主義体制崩壊後に顕在化し始めた地球温暖化は、この地域の凍土融解を加速しており、そのことによってタイガの荒廃と地盤崩落が発生しやすくなっています。このまま温暖化が進行すれば、東シベリアの永久凍土生態系が大きく変わる可能性があります。加えて、凍土に含まれるメタンの融解は全球レベルでの温暖化を加速する要因となることも指摘されています。

## 【成果の意義】

北極域の温暖化は中・低緯度域と比べて急速に進んでおり、その解明は全球の気候変動の解明と社会の適応にとって重要な課題となっています。東シベリアの永久凍土は、その分布の広さゆえに、これまで十分な解明が行われてきませんでした。また、気候変動が北極域の人間社会にどのような影響をもたらすのか、その適応策の構築も国際的に必要とされていました。本研究は、これらの観点において地域住民の認識を含む超学際的知見を提供するものとなっています。

本研究は、気候変動と地域社会の相互作用について、水文学・気象学と人類学を中心とする文理融合による全体論的アプローチが、人類文化史の解明と同時に現在の気候変動研究に貢献することを提示した点に大きな特徴を有します。

【参考図表】

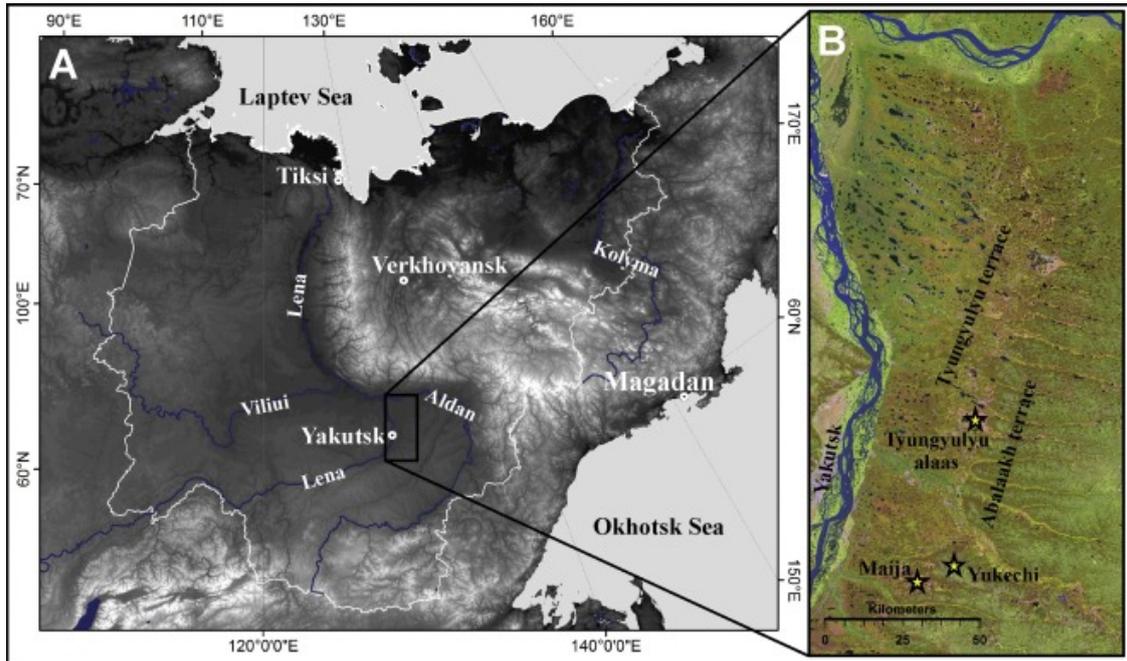


図 1 調査地(ロシア連邦サハ共和国)。レナ川中流域の特に右岸側にサーモカルスト地形が広がっている。(論文では Fig.1)



図 2 永久凍土の断面図。地下に氷楔とよばれる地下氷が存在していることがわかる。A の地下氷は幅 8m で深さ 40m、B の地下氷は幅 10m で深さ 60m。対象地域の年降水量は 240mm ほどでモンゴル・ウランバートルとほぼ同じである。少ない降水量にも関わらず森林が成立するのは、永久凍土が存在するためである。(論文では Fig.3)

**Table 1**  
Timeline combining current geoscientific and socio-economic knowledge on landscape evolution and climatic changes as well as human development and their implications for environment, infrastructure, and/or society during different time periods since the late Pleistocene in Central Yakutia.

| Period                                    | Geoscientific knowledge   | Socio-economic knowledge   | Implications for environment, infrastructure, and/or society in Central Yakutia   |
|---|---|--|---|
| Late Pleistocene (60 ky BP)               | - Ice complex formation   | Diring-Yuryakh culture at the Middle Lena. <a href="#">Waters et al. (1997)</a> claim that "the time horizon is greater than 260,000 years old".   | - Decametre thick layer of ice-rich permafrost<br>- Findings indicate human presence despite severe climatic conditions   |
| Late glacial (12 ky ago)                  | - Climate change<br>- Ice complex degradation<br>- Initial thermokarst processes  |  | - Tundra-like vegetation, increase of birch and other trees ( <a href="#">Andreev and Tarasov, 2013</a> )<br>- Widespread permafrost degradation<br>- Surface subsidence and formation of pond and lakes  |
| Early Holocene (10–8 ky BP)               | - Climate warming<br>- Widespread thermokarst processes   |  | - Open and sparse larch forest cover ( <a href="#">Katamura et al., 2009a</a> )<br>- Existence of numerous thermokarst lakes<br>- Evolution of large thermokarst basins (alaas)<br>- Boreal forest dominated by pine trees ( <a href="#">Katamura et al., 2009a</a> )   |
| Holocene climate optimum (7–4 ky ago)     | - Globally increasing temperatures<br>- Widespread thermokarst processes  | Archaeological findings indicate continual human presence in Central Yakutia since at least 5000 BP ( <a href="#">Argunov and Pestereva, 2014</a> )  | - Formation of thermokarst lakes and thermokarst basins (alaas)<br>- Small (negligible) impact of hunters and gatherers on the ecosystems of North East Asia  |
| 11th–13th century                         | - Medieval Warm period with increasing June temperatures  | Tungus-speaking bands of hunters in Central Yakutia  | Small (negligible) impact of hunters and gatherers on the ecosystems of North East Asia   |
| 13th–19th century                         | - Decrease of air temperature during Little Ice Age   | - Migrations of Sakha groups from the Lake Baikal area to Yakutia<br>- Continuation of cattle-breeding practices under new env. preconditions<br>- Importance of cosmology in adaptive practices<br>- Sacredness of hayland<br>- Russia's land-tenure taxation system              | - Increased usage of natural pasture and forage resources of the long river terraces and numerous alaas areas<br>- Roads through the forests adjacent to alaas and not upon them  |
| 17th–19th century                         |   |  | - Increased importance of cattle over horses, changing pasture to hayfields<br>- Increasing importance of alaas management methods<br>- draining, ground leveling, and deforestation  |
| Soviet period (1920s–1991)                | - Cyclical character of high and low lake-water levels results in decrease and increase in grassland area   | - Agricultural collectivization<br>- Gradual establishment of the state farm system<br>- Marked intensification of hay-making<br>- Introduction of plough technology for more extensive crop cultivation<br>- Spread of heavy agricultural machinery                               | - Extensive agricultural activity around small settlements throughout Central Yakutia<br>- After 1950, amalgamation of small enterprises and relocation into larger, more compact settlements<br>- Gradual expansion of Soviet-style industrialised agricultural production<br>- Large-scale crop production in certain areas of Central Yakutia<br>- Irrigation in some areas<br>- Alaas drainage on grand scale<br>- Untilled meadows turned into plough lands<br>- Soil disturbance and compaction |
| Post Soviet period (from 1991 till today) | - Steadily increase of air and soil temperatures since 1930<br>- Periods of increasing summer precipitation<br>- Increasing permafrost degradation and deepening of the active layer<br>- Expansion of thermokarst lakes and areal changes in hydrological conditions | - Disbanding of state farms and developing of smaller-scale food production<br>- Reversion of grain production to haylands<br>- Intensification of land use in easy-to-access areas, withdrawal from the land in remote areas  | - Manipulation of water balance within alaas by canals and dams<br>- Surface subsidence, increase of permafrost degradation, and formation of pond and lakes in particular in deforested areas<br>- Destruction of buildings and infrastructure<br>- Boreal forest withering and dying  |
| Foreseeable future                        | - Increasing air temperature and permafrost decrease by the end of 21st century<br>- Transformation of the water balance  | - Intensity of land use will depend on state programs and subsidies<br>- Cattle and horse breeding pursued by a small number of experts- continued youth out-migration to larger cities<br>- Increasing land use of deforested areas on ice-complex deposits (cropland, buildings) | - Multiple effects on biodiversity, ecosystem productivity and human use of large areas<br>- Increasing active layer, expanding taliks and thermokarst processes<br>- Further permafrost degradation<br>- Local land-use intensity dependent on the availability of transport and infrastructure<br>- Depopulation of remoter rural settlements   |

表 1 更新世後期から現在に至るレナ川中流域の永久凍土と人間社会の相互作用年表。六万年前に凍土の形成が始まり、七千～四千年前の完新世気候最温暖期に凍土融解によるサーモカルストの形成が始まった。考古学的遺跡では少なくとも五千年前から人類の居住の痕跡が認められ、11–13 世紀にはツングース系言語集団(狩猟採集・トナカイ飼育)がこの地域に暮らしていた。13 世紀以降、中央アジア起源のトルコ系サハ人がこの地域に移住し始め、牛馬牧畜適応を行った。17 世紀にはロシアの植民地となり、20 世紀にはソ連経済政策のもとで農地が拡大した。この間の気候変化は循環的でサーモカルスト地形は比較的安定していた。1991 年にソ連が崩壊するが、その後、温暖化と降水量増加が観測されており、それらが永久凍土の融解を進め、サーモカルスト地形周辺の森林が荒廃し始めた。このような変化は、永久凍土生態系に依存していた地域住民の牛馬牧畜・農業生産に打撃を与えている。

【論文】

Crate, S., Ulrich, M., Habeck, J.O., Desyatkin, A.R., Desyatkin, R.V., Fedorov, A.N., Hiyama, T., Iijima, Y., Ksenofontov, S., M'esz'aros, C. and Takakura, H. (2017): Permafrost livelihoods: A transdisciplinary review and analysis of thermokarst-based systems of indigenous land use. *Anthropocene*, **18**, 89-104, doi:10.1016/j.ancene.2017.06.001.