

東シベリアコリマ河下流域及びヤクーツク周辺の永久凍土中の有機物年代測定

福田正己¹・仙頭宣幸²・中村俊夫³・V.V.クニツキ⁴

- 1 北海道大学低温科学研究所 〒060 札幌市北区北19条西8丁目
- 2 北海道大学大学院地球環境研究科 〒060 札幌市北区北19条西8丁目
- 3 名古屋大学年代測定資料研究センター 〒464-01 名古屋市千種区不老町
- 4 ロシア科学アカデミー永久凍土研究所 ヤクーツク、サハ共和国、ロシア連邦

1 はじめに

1995-1996年に文部省科学研究費補助金国際学術研究の一環として、東シベリアのコリマ河下流域及びレナ河中流(ヤクーツク周辺)において、永久凍土と気候変動に関する調査を実施した。これまでに類似の調査を既に実施し、多くの永久凍土中の年代測定結果を得ており、それらについては既に報告した。(長岡ほか 1994、福田ほか 1995)。調査研究の目的は、最終氷期以降の地球規模の気候変動のもとで、シベリア永久凍土がどのように応答したかについての影響の研究であった。従来指摘されていたように、永久凍土は気候温暖化で受動的に反応し、大規模融解するのみではない。すなわち、永久凍土に含まれる地下水「エドマ層」には、部分的に高濃度のメタンガスを含有する。融解過程で、このメタンガスが大気中へ放出され、温暖化をさらに押し上げる効果を及ぼす。すなわち、気候の温暖化に能動的に作用することになる。そこで、本研究では、こうしたエドマ層の成因とその形成時期について、現地調査を行い、採取した有機物による年代測定を行った。

既報にあるように、エドマ層の堆積年代は最終氷期の亜間氷期(4万年前-2万5千年前)から開始し、亜氷期(2万年前)頃に停止したとされる。(Kaplina and Lozhkin 1984)。今回の調査地域(コリマ河下流)では、最も遅くまでエドマ層の形成が進行していたと考えられる。また、完新世(1万3千年)以降の温暖化で、エドマ層の上部の融解が開始し、融解地形(アラス)が形成された。レナ河中流(ヤクーツク周辺)では、融解による窪地(アラス)が広く分布している。そこで、アラスの堆積物に含まれる有機物の年代を測定し、エドマ層の融解の時期を確定することとした。

2 調査地域

今回の調査地域は、レナ河中流ヤクーツク周辺のアラス(北緯62度9分21秒、東経130度38分24秒)、コリマ河河口近くの北極海沿岸アンバルチック(北緯69度40分39秒、東経163度47分47秒)、コリマ河下流の支流プラヒナヤール(北緯68度40分44秒、東経160度17分6秒)、同支流アヌイ河沿いのクラシーバヤ(北緯68度18分12秒、東経161度44分34秒)の4カ所である。それらの所在地を図1に示す。既報(1994,1995)はレナ河からインジギルガ河までの間、そして北極海の新シベリア諸島であった。今回の調査地ではヤクーツク周

辺を除けば、より東側のコリマ河に寄っている。またコリマ河下流地域であるプラヒナヤール

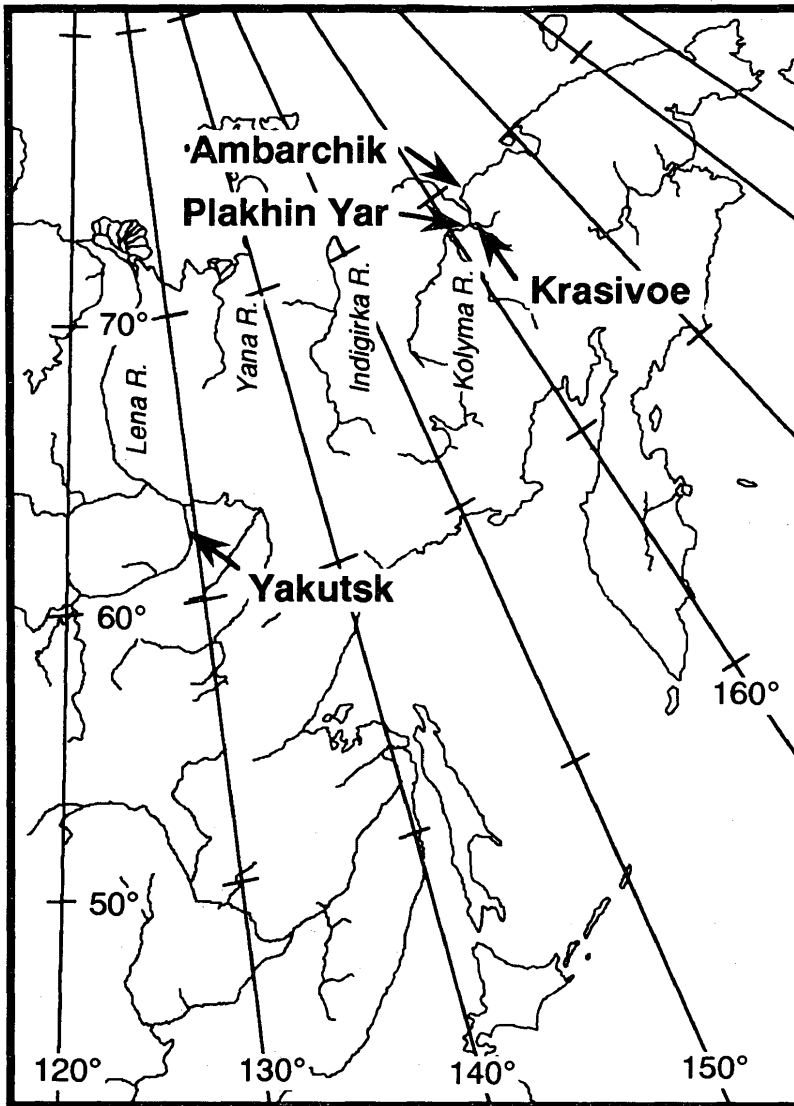


図1 調査地域図

3 ヤクーツク周辺のアラス堆積物の年代測定

ヤクーツクから北東へ約45km離れた、対岸(レナ河右岸)の中位段丘面(トゥンギュルー段丘面)には数多くのアラスが形成されている。特にトゥンギュルーアラスは10kmの大きさで未だに湖水を湛えている。この段丘には同時発生的な氷楔が形成されている。この段丘面上では、既に30-40%の面積がアラス化している。アラスの形成に関わるような、永久凍土の大規模な融解が何時から生じたかを知るために、中位段丘面上のアラス堆積物の年代測定を試みた。調査地域は長径500m、短径300mの小型のアラス「ウナハ アラス」である。アラスの窪みは周辺から約6m深さである。(図2)。縁から60m長あり、そこにはソリフラクション堆積の構造をもつ土壌断面が観察された。アラスの中心には数10mの大きさの沼が残されている。年代測定用の試料を採取するために、ほぼ中心部で深さ1mのピットを

ルにおいても、エドマ層の融解によるアラスの形成年代について、泥炭層の採取を行った。現地調査は1996年8月上旬(レナ河)、同中旬一下旬(コリマ河)に実施した。

コリマ河流域のエドマ層については、既に1995年度の報告で、ドバニヤールでの結果が示されている。それによれば、エドマ層の表面から4mで $33,480 \pm 260$ yBP(NUTA-3610)が得られており、エドマ層の形成停止が比較的古いものと推定されている。一方 Kaplina らによれば、コリマ河中流では、東シベリア全域でも最も遅くまでエドマ形成は継続したとされており、今回の新たな年代測定結果によって、それを確定するという意義がある。また、年代測定用の試料採取に併せ、地下氷の酸素同位体組成や氷試料に含まれている気泡のガス組成についての分析を行った。これらの分析結果については、古環境の復元のために、総合的に検討し改めて別に報告する予定である。

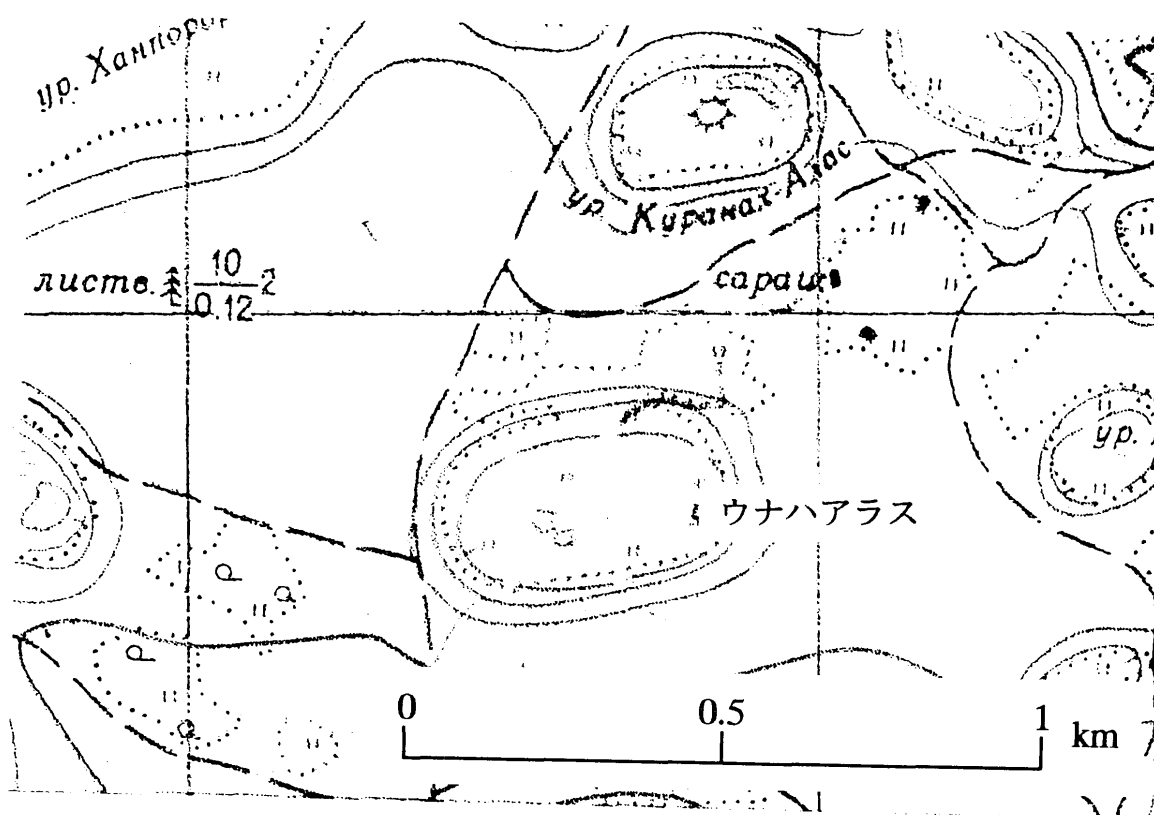


図2 ウナハアラスと周辺地形

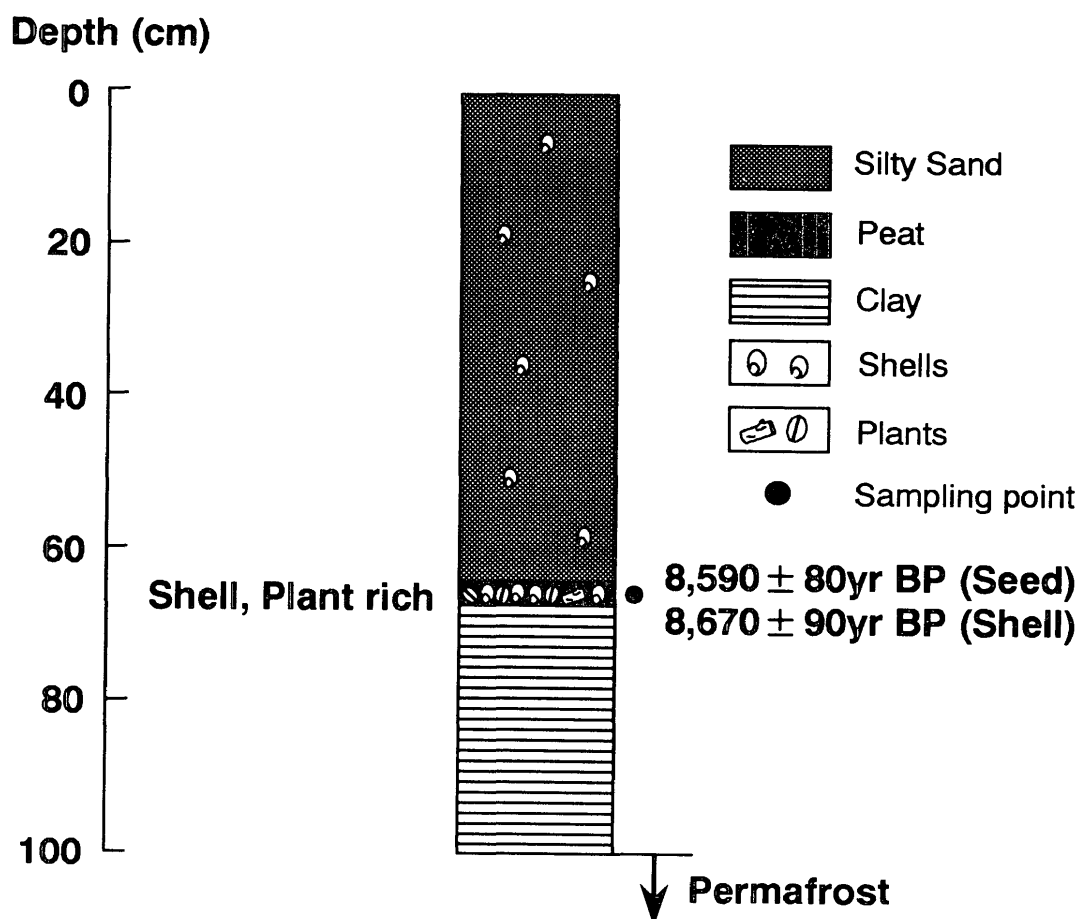


図3 ウナハアラス堆積物の土壌断面

掘り、土壌断面観察と試料の採取を行った。図3にその地点の土壌断面を示す。表面から60cm深さまでは、黒色のシルト質砂で無層理である。その下に厚さ約5cmの泥炭層が挟まれ、貝と植物種子を多く含む。その下位には、湖沼堆積層の特徴を有する粘土層があり、採取時点(8月7日)での活動層は約1mであった。中間の泥炭層から年代測定用に貝化石(直径5mm、千葉県立中央博物館 動物学研究科 黒住耐二氏による同定 *Gyraulus* sp. cf. *G.laevis* ヒラマキミズマイ属の一種)を採取した。同層準から種別不明の植物種子を併せて採取した。

貝化石については、超音波洗浄を行い、リン酸で反応させ最終的には炭酸ガスとして回収した。それを触媒で還元ターゲット用の鉄粉(グラファイト)に固定した。使用した貝化石は、約20mgであった。種子試料は酸-アルカリ-酸と処理し、燃焼させて炭酸ガス化し、鉄触媒による還元でターゲットにした。使用試料は100mg-200mgであった。

測定結果は貝については、 $8,670 \pm 90$ yBP (NUTA-4868)が得られた。同層準の種子は、 $8,590 \pm 80$ yBP (NUTA-4869)であり、ほぼ両者は一致した。ヤクーツク周辺でのアラス形成は多くの場合、9,000 yBP以降とされている。今回の測定結果もそれにほぼ等しく、完新世以降の温暖化のもとで永久凍土中のエドマの融解が開始したことを示唆している。

4 コリマ河河口部アンバルチック付近のエドマ層年代

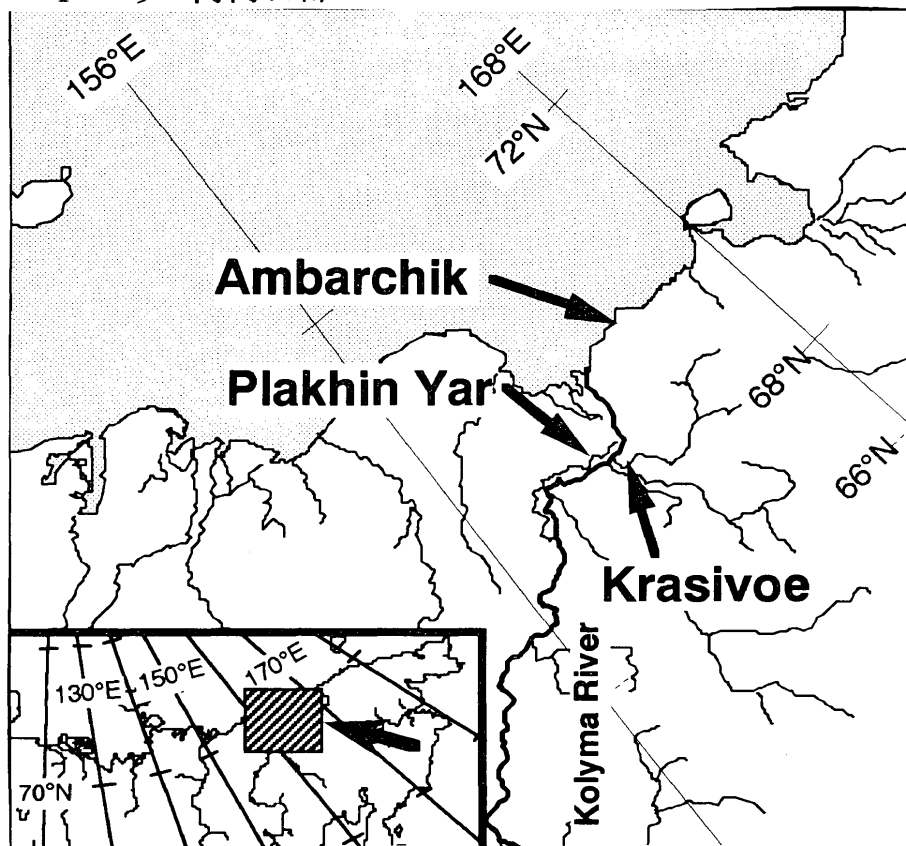
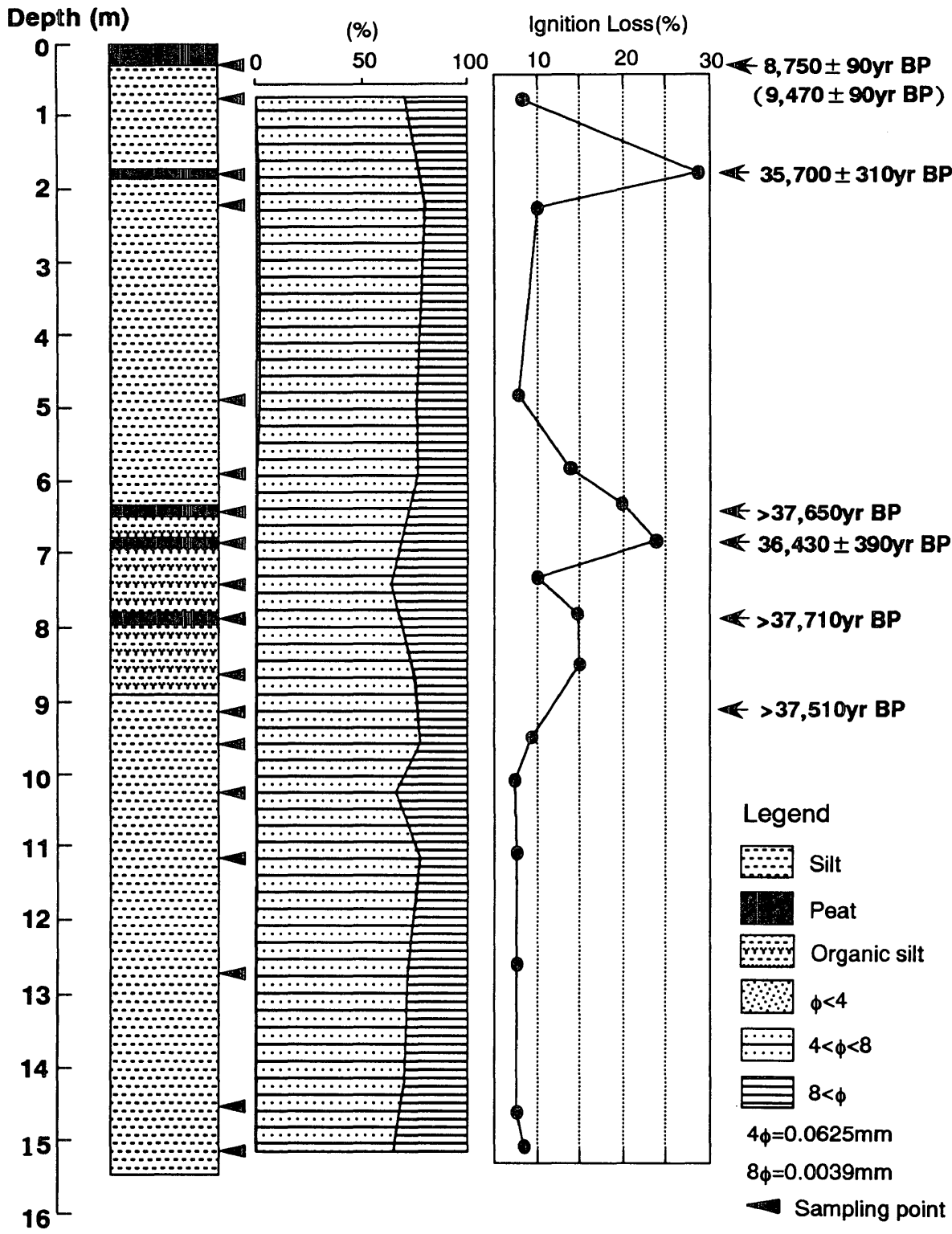


図4 コリマ河下流のエドマ層調査地点位置図

コリマ河下流地域では、3カ所の地点でエドマ層の調査を行った。それらの相互の位置関係を図4に示す。アバルチックは北極海沿いで他の2点より離れている。コリマ河の河口を出ると、海岸線によって古生層の砂岩・頁岩からなる基盤岩が連続して分布する。地形的には、周氷河性の緩やかな斜面と、所々の残丘状のトーアが分布している。そうした基盤地形が切り込まれた堆積盆になった場所に、エドマ層が堆積しており、その表面は平坦で、段丘地形を形づくる。アンバルチックでは、周辺には大きな河川の発達もなく、段丘面の保存は比較的よい。

現海面から段丘面のトップまでの比高は38mである。露頭の下半分は融解による堆積物で覆われ、エドマ層は観察出来なかった。そこで、上部について堆積物を採取し、粒度組成強熱有機減量を測定した。堆積物は暗灰色～茶灰色を呈しており、細粒であり粘土質シルトである。表面付近では、地下水を覆うように有機層があり、木片と木炭とがそこに含まれている。すなわち



エドマ層の堆積後に完新世以降にその融解によるアラス成があったことを示唆している。この木片についても年代測定試料とした。上部及び中間の層準では明らかな産状を示す泥炭層が数枚観察された。これらの断面と年代測定結果を図5に示す。基底にはマンモスと思われる化石が見られた。エドマ層を覆うアラスの堆積年代は約9000年前であり、ヤーツク周辺よりもアラスの

図5 アンバルチックのエドマ層断面と年代測定結果

形成が早かったことが分かる。エドマ層の上から 1.85 mにある泥炭層による年代は、 $35,700 \pm 310\text{yBP}$ (NUTA-4870)であり、6 m以深の4カ所では全て測定範囲を超えていた。

5 コリマ河支流アヌイ河クラシーバヤのエドマ層年代

クラシーバヤでのエドマ層は、アヌイ河の段丘面沿いに露出している。河床からの段丘面までの比高は約17mであり、エドマ層の下限は河床以下となって確認することは出来ない。部分的に融解による堆積で、1カ所でエドマ層のトップまでの連続試料採取は出来なかった。堆積物の粒径は細かく、シルトを主体としている。また全体的に有機質に富んでいる。強熱有機減量のピーク位置には、明らかな泥炭層が挟まれている。しかし、有機物には細かな根が含まれており、年代測定には適していない。深さ12m位置には、偶蹄類と思われる動物化石が発見された。以上の2試料について年代測定を行い、その結果を図6に示す。

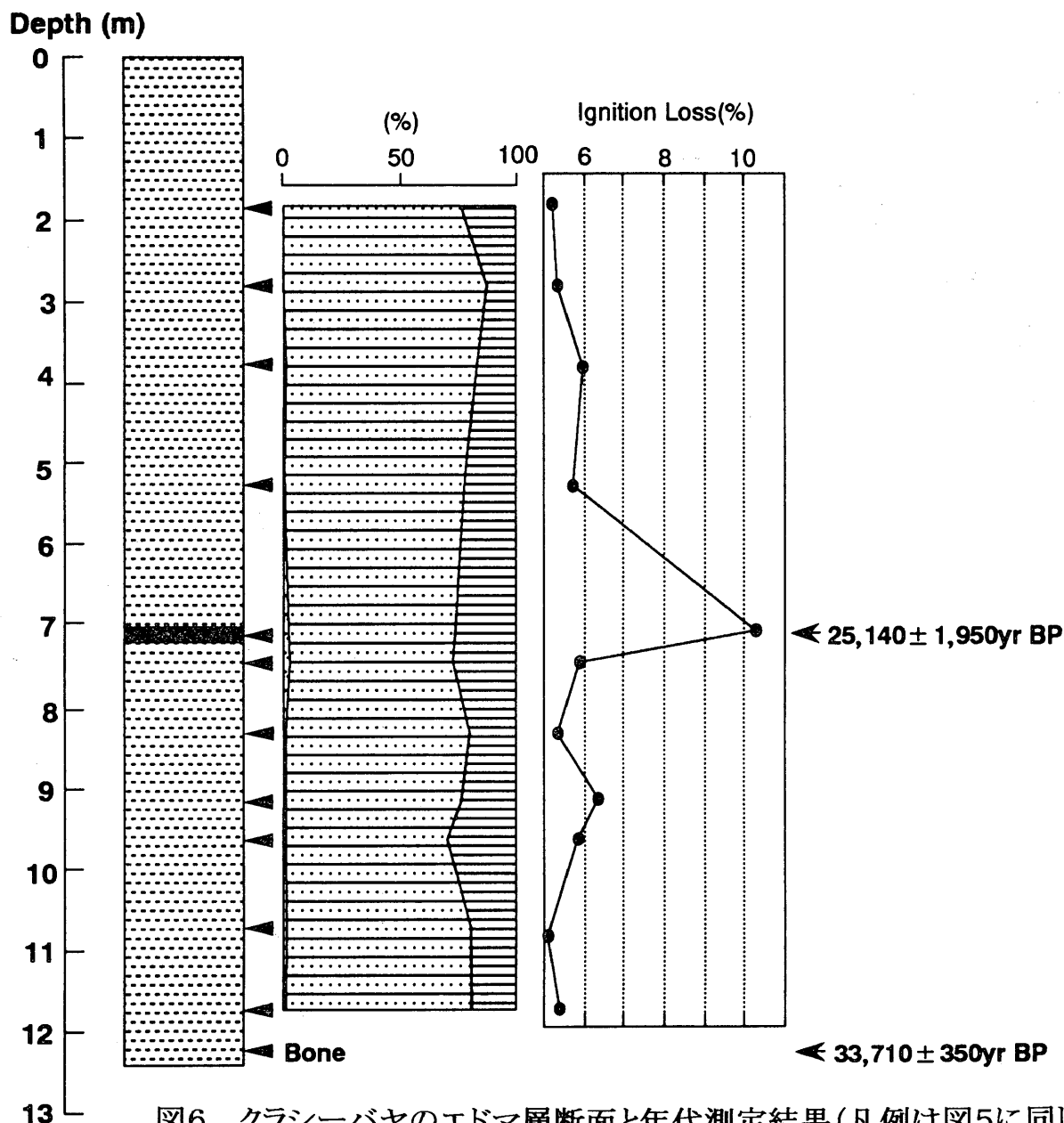


図6 クラシーバヤのエドマ層断面と年代測定結果(凡例は図5に同じ)

2点に過ぎないものの、クラシーバヤ露頭では、下位でカルギンスキー亜間氷期(33,710 ± 350yBP NUTA-4900)にはエドマの堆積が開始しており、また中位で示された年代(25,140 ± 1,950yBP NUTA-4869) は亜間氷期の終わりにあたっている。この上にさらに7mのエドマ層の堆積があることから、クラシーバヤではサルタン亜氷期にまで堆積が継続していたことが示唆されている。

6 コリマ河支流スタドヒンスカヤ河プラヒナヤールのエドマ層と隣接するアラスの年代

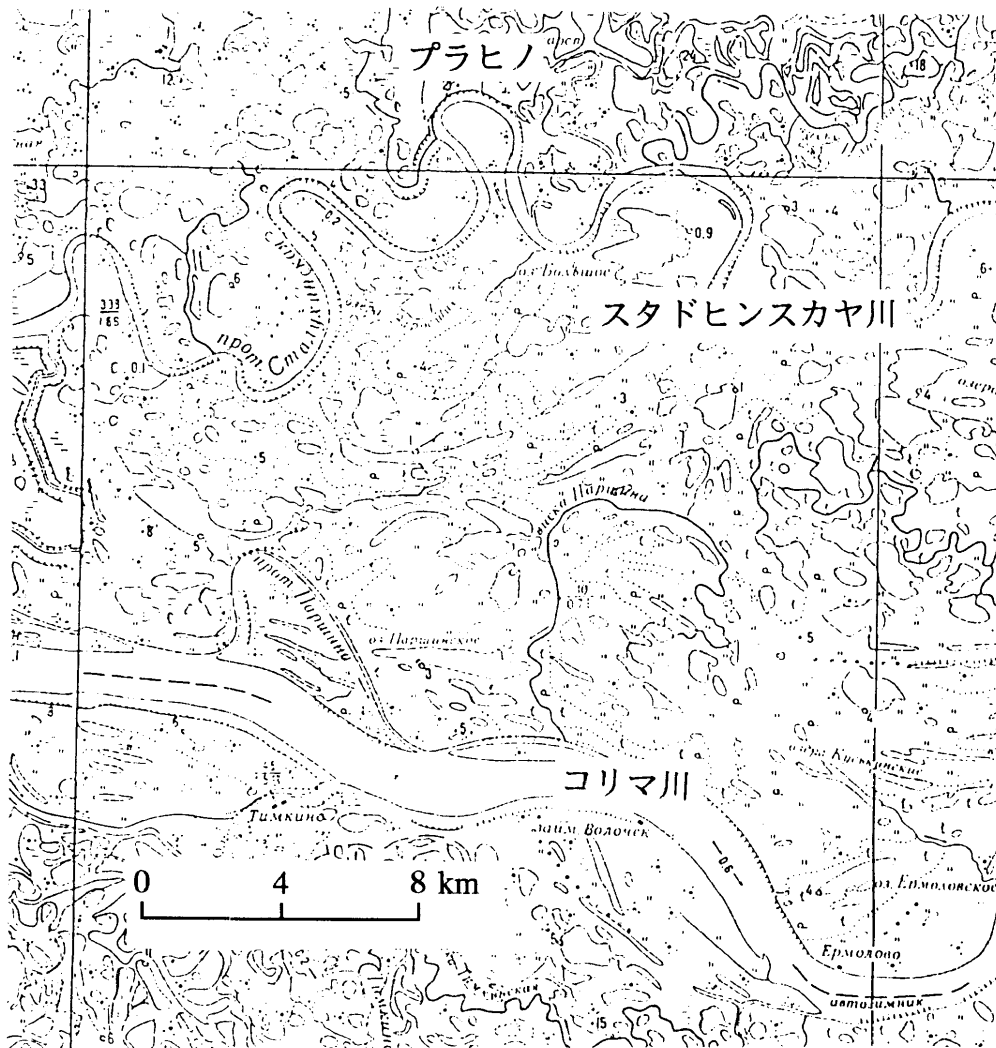


図7 プラヒノヤールの位置図

前報告(1995)でコリマ河の下流のドバニヤールでの年代測定結果を報告した。予想に反して、エドマ層トップから4m深さの年代は 33,480 ± 260yBP NUTA-3610) が得られている。今回の調査地点は、ドバニヤールから北西へ約60km下流側にあるプラヒナヤールである。コリマ河が北緯68度付近で南北から東西へ流路を変えるあたりで、本流の北側10kmを併行して流れるスタドヒンスカヤ河沿いに位置している。コリマ河本流に比べて、スタドヒンスカヤ河に沿った段丘は20m程度と低い。露頭は浅く堆積物で覆われていた。そこで、ウォーターポンプを用いて、これらの堆積物

を除去して、15m高さのエドマ層を露出させた。また露頭位置から約 500 m上流側には、直径700m程のアラスが形成されている。その縁の部分はスタドヒンスカヤ河により側方浸食され、アラスの窪みに堆積した泥炭層が露出している。エドマ層の露頭と併せてアラスからも泥炭と木片試料を採取した。まずアラスの露頭断面と年代測定結果を図8に示す。表面から1mで採取した草本の根による年代は、5,780 ± 90yBP NUTA-4554として得られた。それより下位では、木片による測定を行った。最下位では 8,040 ± 100yBP であり、前述のヤク

ーック付近のアラスの年代に近い。アラス堆積物の基底は確認出来なかったが、気候温暖化によるエドマ層の融解が、8000年ころから開始したことが分かる。上位2-3地点の年代測

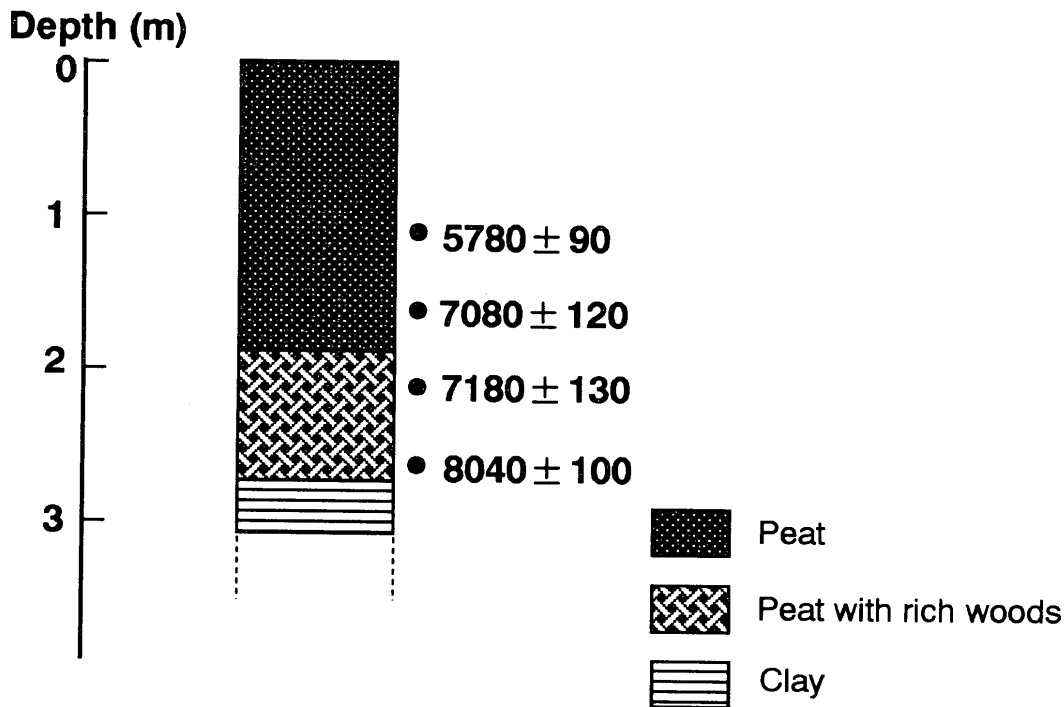


図8 プラヒナヤールに隣接するアラスの泥炭層年代測定結果

値はほぼ一致しているが、これは水苔と木片との差であろう。すなわち、水苔が原位置堆積なのに対して、木片は流水などによる移動の影響を受けるためであろう。そこで、この2点間を除いて、アラスの泥炭堆積速度を算出すると、1-1.5 mでは3.84 m m/yで、1.5-2.0 mでは5.81mm/y、1.0-2.5 mでは6.64mm/yとなる。アラスでの泥炭の堆積速度は極端に大きいことが示されている。すなわち急激な温暖化と最適温暖期の活発な植

物生産の高さの反映であろう。アラスの形成はこの結果からは約8000年-4000年の間に生じたものと推測された。

次にエドマ層の堆積物と年代測定結果を図9に示す。茶褐色を呈した堆積物はシルトを主体としているが、2.5-7.4 m深さでは砂質部が卓越する。有機含有量は、下部でやや多いが、深さ6.5 mに12%を超えるピークが見られる。その層準には泥炭質に富む暗褐色層があるものの、ひげ根状の残留物が多く年代測定には不適であった。2 m深さ付近、4 m深さには、一辺が10数cmの4-6角形の割れ目が形成されていた。年代測定の結果を見ると、上部(3m付近)では、2万年という値が2カ所で得られている。さらに5m深さでは22,280 ± 490yBP NUTA-4559を示し、7m深では24,271 ± 973yBP NUTA-4274が得られた。下部では、9.38 m深での木片では27,290 ± 1,110yBPであるのに対し、それよりも少し上部の位置の氷に埋設されていた動物化石からは29,300 ± 630yBPとなってわずかに逆転となった。この原因は、木片と偶蹄類化石の相違によるか、あるいはエドマ層の地下水部分と凍土層部分の堆積時期のずれによるかであろう。しかし、その差違は少ないので、エドマ層の下位年代は約28,000年前であると言える。この年代測定値は、既に報告したドバニヤールでの値と比較すると遙かに若い。これは、従来指摘されていたように、コリマ河流域には高位と低位の2段のエドマ層からなる河成段丘の存在に関わるのであろう。特に

スタドヒンスカヤ河沿いの段丘面は、本流に比べて 10-15 m も低いこと、構成する堆積物がより砂質であることなどから、両者の堆積時期と環境が異なることが示唆される。Kaplina らが以前に指摘したように、コリマ河下流域では、最終氷期の後半亜氷期(サルタン亜氷期)にまで、エトマ層の形成が継続していた可能性を示している。

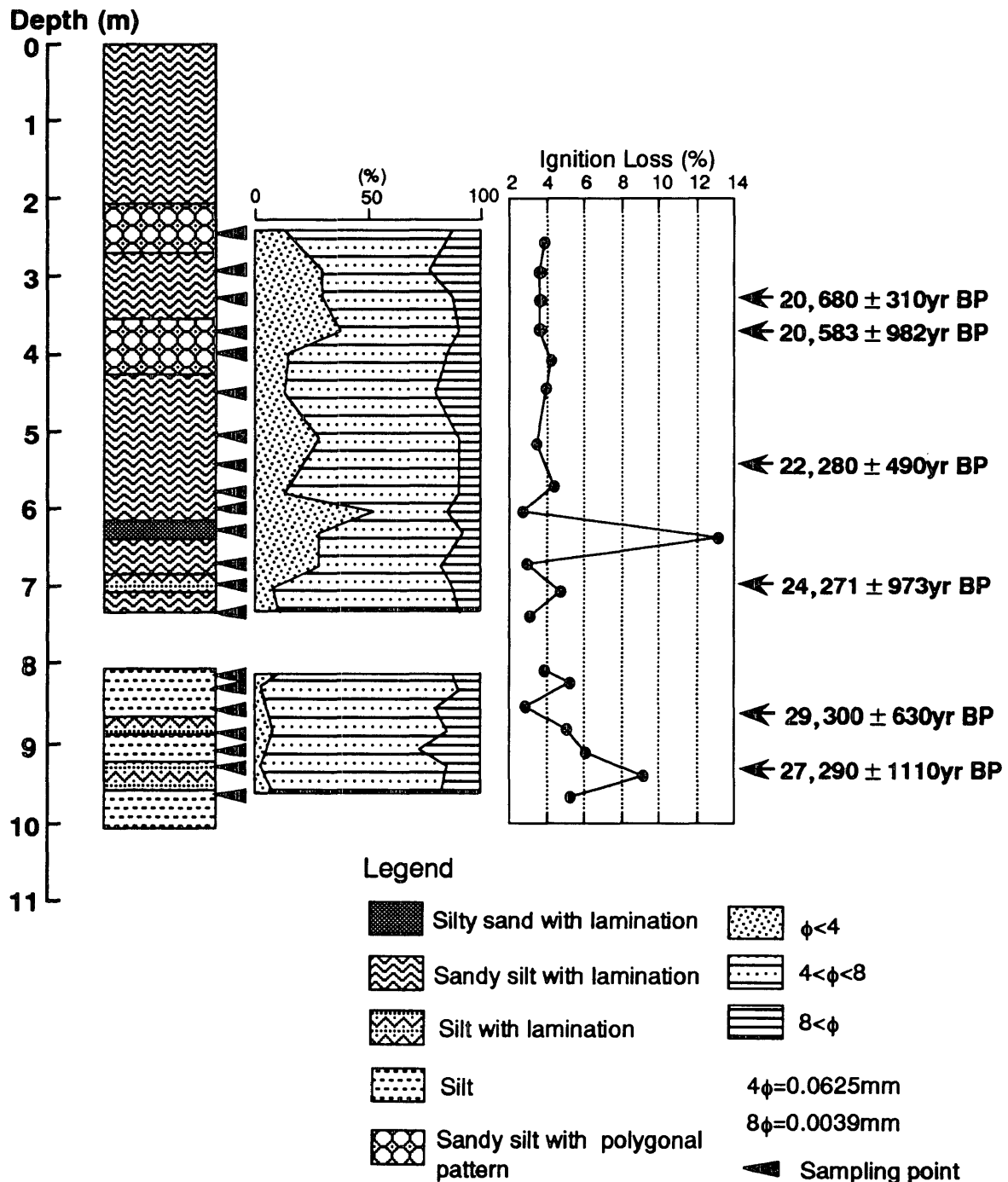


図9 プラヒナヤールのエトマ層断面と年代測定結果

7 まとめ

東シベリアのレナ河中流域(ヤクーツク周辺)とコリマ河下流域で、永久凍土に含まれる有機物の年代測定を行った。その結果、1)エドマ層の融解によるアラスは約 8,000 年前に開始した、2)コリマ河河口のエドマ層は最終氷期のカルギンスキー亜間氷期に形成された、3)コリマ河下流域の支流では、カルギンスキー亜間氷期からサルタン亜氷期にかけて形成されたことが分かった。測定結果をまとめて、表1に示す。

サンプル名	地点	深さ(m)	材料	年代 (yr BP)	コード番号
S1-12		3.32	木片	20,680 ± 310	NUTA-4555
S1-11		3.70	木片	20,583 ± 982	NUTA-4273
S1-7	プラヒナヤール 北緯68°40'43.8"	5.51	木片	22,280 ± 490	NUTA-4559
S1-2	東経160°17'6.6"	7.08	木片	24,271 ± 973	NUTA-4272
PB-2		8.57	偶蹄類の肋骨	29,300 ± 630	NUTA-4560
S2-2		9.38	木片	27,290 ± 1110	NUTA-4558
A4		1.08	草の茎	5,780 ± 90	NUTA-4554
A3	プラヒナアラス 北緯68°41'2.7"	1.58	ミズゴケ	7,080 ± 120	NUTA-4541
A2	東経160°16'10.5"	2.08	木片	7,180 ± 130	NUTA-4540
A1		2.58	木片	8,040 ± 100	NUTA-4539
AmbS0C-14L		0.35	木片	8,750 ± 90	NUTA-4886
AmbS0C-14C		0.35	木炭	9,470 ± 90	NUTA-4871
AmbS5C-14	アンバルチク	1.85	木片	35,700 ± 310	NUTA-4870
AmbS3-4	北緯69°40'39.1"	6.44	木片	>37,650	NUTA-4924
AmbS3-5	東経163°47'46.8"	6.94	草の茎	36,430 ± 390	NUTA-4873
AmbS3-7		7.94	木片	>37,710	NUTA-4925
AmbS2-2		9.13	木片	>37,510	NUTA-4872
KraS3-1	クラシーバヤ	7.11	草の茎	25,140 ± 1950	NUTA-4887
KraB1	北緯68°18'12.3" 東経161°44'33.9"	12.28	偶蹄類の肋骨	33,710 ± 350	NUTA-4900
Cow AlasS	ウナハアラス	0.66	種	8,590 ± 80	NUTA-4869
Cow AlasK	北緯62°9'20.7" 東経130°38'24"	0.66	貝*	8,670 ± 90	NUTA-4868

表1 東シベリアのエドマ層及びアラス堆積物の年代測定結果

謝辞

本研究は文部省科学研究費補助金国際学術研究「地球規模の気候変動が北東シベリア永久凍土地域の凍土圏・生物圏に与える影響の研究」代表者福田正己課題番号 07041078の一環として平成7-8年度に実施された。また、平成7年度には住友生命財団の研究助成を受けた。以下の各位には現地調査及び解析にあたって多大の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。 極東地理研究所チェルスキー観測所 S.Zimov 博士、永久凍土研究所 P.N.Rusakov 氏、北海道大大学院地球環境研究科南川雅男教授、大場忠道教授、村山雅史助手、同理学研究科知北和久男助教授、名古屋大学年代測定資料研究センター池田晃子技官、国立環境研究所大気動態部森泉純氏。

引用文献

- 福田正己・長岡大輔・西城潔・中村俊夫・ V.Kunitsky(1995):東シベリア各地の永久凍土中の有機質年代測定、名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(VI),178-187.
- Kaplina,T.N. and Lozkhin,A.V.(1984):Age and history of accumulation of the "Ice Complex" of the maritime lowland of Yakutia,In Velichiko,A.A. ed. Late Quaternary Environments of the Soviet Union, University of Minnesota Press,147-151.
- 西城潔・長岡大輔・福田正己・ V.Kunitsky ・ A.Arkhangerov(1995):シベリア北極圏、ボリシヨイリヤホフスキー島で発見されたマンモスの皮膚の¹⁴C年代、第四紀研究、**34**,315-317.
- 長岡大輔・曾根敏雄・中村俊夫・福田正己・仲山智子・ V.Kunitsky(1994):東シベリア、ブイコフスキー半島周辺の永久凍土形成年代、名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(V),197-206.
- 長岡大輔・西城潔・福田正己・中村俊夫(1996):東シベリア、北極海周辺に分布する永久凍土”エドマ”の形成環境と形成期、地学雑誌、**105**、15-30.

Radio Carbon Dating Results of Organic Materials Obtained from the Lowland Kolyma River and the Middle of Lena River

Masami FUKUDA¹. Nobuyuki SENTO². Toshio NAKAMYRA³
and V.V.Kunitsky⁴

1. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido Univ. Sapporo. JAPAN

2. Graduate School of Environmental Earth Sci., Hokkaido Univ. Sapporo
JAPAN

3. Dating and Material Research Center, Nagoya Univ. Nagoya, JAPAN

4. Permafrost Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sci., Yakutsk.
RUSSIA

The field expeditions in Eastern Siberian Permafrost was conducted in both 1995 and 1996 as to get detail information of the permafrost response to climate change. In the low land area of Kolyma River, there exists the unique deposit of Permafrost with large ground ice accumulation, which is locally "Edoma or Ice Complex". The genesis and occurrence of Edoma reflect the long term climate change at high arctic Siberia. Because of the active response of Permafrost under present climate warming trend, it is important to understand the process of accumulation of Edoma.

Present authors sampled the organic materials from Edoma at various locations in these regions. Edoma tends to thaw in large scale after the Last Glacial Periods. By thawing and melting of ground ice, ground surface subsides and results in formation of Thermo-Karst depression, which is locally named as Alas. ¹⁴C dating results indicated the thawing of Edoma started at about 8000 yBP ago and continued until about 4000yBP.

As lowest boundary of Edoma was not detected, the initiation period of Edoma was not estimated yet. However at three locations in low land Kolyma, organic materials including fossil of Mammal were dated as the time of Karginy Interstadial and Sartan Stadial in Last Glacial.

Edoma in this region was categorized into two groups. Edoma along the coast of arctic sea near river mouth of Kolyma, named as Ambarchik started its accumulation in karginy Interstadial and terminated its accumulation at the late Karginy Interstadial. On the other hand, two sites along Kolyma River, Plaxina Yar and Krasivoe, results of dating suggested accumulation of Edoma might continued in the middle of Sartan Stadial. These dated values newly imply Edoma in this region is the most latest accumulation in Eastern Siberian Permafrost.