



愛研技術通信

掲 示 板

法令・告示・通知・最新記事・その他

○ 森林が大気中マイクロプラスチックを捕捉することを世界で初めて実証
～ ヒトによるAMPs 吸入リスク低減において森林が重要であることを明らかに ～

2024年3月27日日本女子大学報道発表資料抜粋

日本女子大学、早稲田大学、およびPerkinElmer Japan 合同会社の研究グループは、葉面に捕捉された大気中マイクロプラスチック（AMPs: Airborne microplastics）に適した葉面洗浄法を開発し、AMPs が葉面のエピクチクラワックスに吸着することにより、葉に捕捉されるというメカニズムを初めて解明しました。

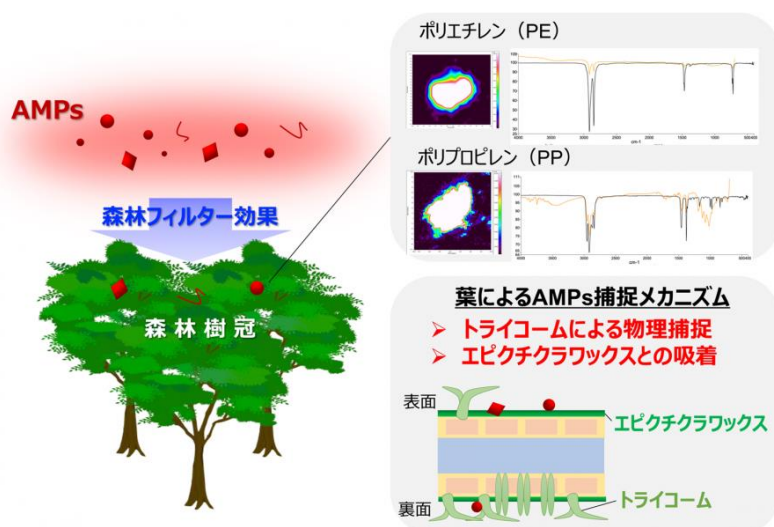


図1. 森林域におけるAMPsの動態

【これまでの研究で分かっていたこと】

森林は大気中のガス状・粒子状大気汚染物質を樹冠で捕捉し、大気を浄化する「森林フィルター効果」を有することが知られており、森林はAMPsの重要なシンク（吸収源）として機能する可能性があります。2020年に初めて葉に捕捉されたAMPsが報告され、それ以降いくつかの研究で調査が進められていますが、先行研究には主に二つの問題点がありました。

第一に、先行研究ではAMPsを葉から回収する際に超純水で葉面を洗い流す手法（葉面洗浄法）や超音波洗浄法が用いられてきましたが、葉に捕捉されたAMPsがすべて洗浄されているのか検討されておらず、葉面捕捉量を過小評価している可能性があります。

第二に、先行研究では市街地の街路樹や公園などの低木が対象であり、高木で構成される森林によるAMPsの捕捉実態や捕捉機構は不明でした。冒頭で述べたAMPsのシンクとしての森林の機能を適切に評価するためには、先行研究におけるこれら二つの課題を解決することが不可欠です。

【今回の研究で新たに実現しようとしたこと、明らかになったこと】

一般に、植物の葉面には、エピクチクラワックス（葉面に存在する飽和／不飽和脂肪酸で構成されるコーティング構造）やトライコーム（植物の表皮細胞が突起様構造になった植物体毛）といった構造が存在し、こうした構造が葉面でのAMPsの捕捉に影響を与える可能性があります（図2）。例えば、AMPsはトライコームに物理的に捕捉されたり、プラスチックの有する親油性によってエピクチクラワックスに吸着されたりする可能性があります。

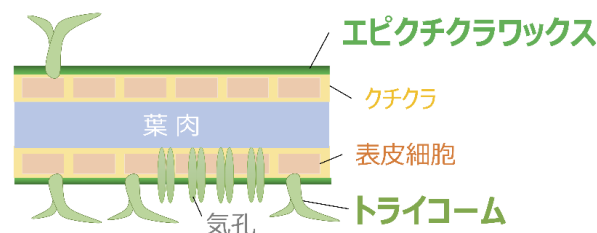


図2. 葉面の構造

以上をふまえて、本研究では、先行研究で用いられていた超純水による葉面洗浄に加え、超音波洗浄とアルカリ洗浄を実施することで、葉面に捕捉されたAMPsの除去効果を検討しました（図3）。大気汚染物質に関する既往研究から、弱い超音波洗浄はトライコームをはじめとする表面の物理的な構造によって捕捉されたAMPsの回収に有効であり、アルカリ洗浄によるエピクチクラワックスの溶離は、吸着したAMPs回収に有効であると考えられます。そこで、これらの洗浄方法を同一の葉に順次行うことで、各洗浄方法の評価を行い、葉によるAMPs捕捉機構を推定しました。

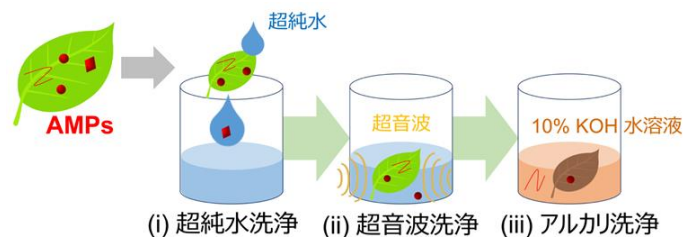


図3. 本研究で実施した葉の洗浄実験

調査地は、神奈川県川崎市にあるに日本女子大学 西生田キャンパスです（図4）。西生田キャンパスは、東京都心から南西に約19kmの距離に位置し、校地面積（293,800 m²）のうち約6割が森林に覆われた都市域に存在する小規模森林です。西生田キャンパスは、AMPsの主要な発生源と考えられる都市近傍に存在することから調査地として選択しました。西生田キャンパスの主要樹種であるコナラの葉を、2022年6月21日および8月9日に採取しました。なお、コナラは日本における主要な広葉樹でもあります。



図4. 日本女子大学西生田キャンパス（白枠）における葉の採取地点（赤丸）

これらの葉は、前述した方法で洗浄した後、AMPsを抽出する処理を行なった上で、 μ -FTIRATRイメージング測定（顕微フーリエ変換型赤外分光法）（PerkinElmer製 Spectrum3 Spotlight400）を用いて分析しました。

その結果、超純水洗浄、超音波洗浄、アルカリ洗浄と段階を経るごとに検出されるAMPs量が上昇し、アルカリ洗浄で最大量のAMPsが回収されました。また、葉面観察の結果、超純水洗浄では葉の上に捕捉されたAMPs、超音波洗浄ではトライコームに物理捕捉されていたAMPs、アルカリ洗浄ではエピクチクラワックスに吸着していたAMPsがそれぞれ洗浄されたと推測されました。

以上から、AMPsの主要な捕捉メカニズムとして葉面エピクチクラワックスへの吸着が機能しているということ、さらにエピクチクラワックスに吸着したAMPsは超純水や超音波を用いた洗浄では十分に回収できないのに対し、本研究で考案したアルカリ洗浄によって適切に回収できることが明らかになりました。また、この方法を用いて日本全体のコナラ林（約32,500 km²）には年間で約420兆個もの膨大な量のAMPsが捕捉されていると推計され、AMPsのシンクとして森林が機能している可能性が高いことがわかりました。

【新しく開発した手法】

葉面のエピクチクラワックスに捕捉されたAMPsを回収する手法として、上述したアルカリ洗浄を開発しました。アルカリ試薬を用いた処理は、これまで魚や貝などの生体試料に含まれるマイクロプラスチックの分析に広く使用されており、プラスチックへ影響を与えない範囲で生体組織を効率的に分解できることが報告されています。これを葉面エピクチクラワックスの分解に適用できる方法を新たに開発しました。この洗浄前後の葉面の観察により、葉面エピクチクラワックスがアルカリ洗浄によって完全に分解され、通常であればその下に存在する表皮細胞と見られる部屋のような構造体が完全に露出している様子を確認しました（図5）。

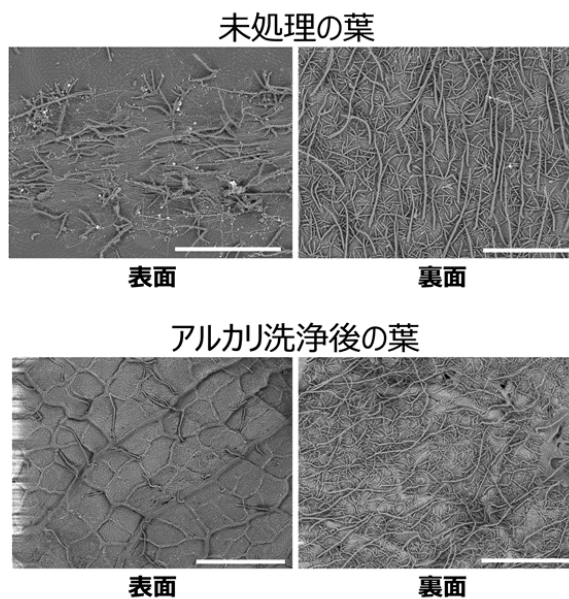


図5. アルカリ洗浄前後の葉面を撮影したSEM画像（スケールバー：100 μ m）

【 研究の波及効果や社会的影響 】

本研究により、AMPsの新たなシンク（吸収源）として森林が重要であることが明らかとなり、波及効果として都市域におけるマイクロプラスチック大気汚染対策として樹木を用いたバイオレメディエーションが有効であることが示されました。

温室効果ガスによる地球温暖化問題とプラスチックゴミ問題は重大な地球環境問題です。本研究は森林が二酸化炭素吸収源として気候変動対策において重要であるばかりではなく、大気中マイクロプラスチック対策としても重要であることを明らかにしました。現在我が国においては林業が衰退しつつありますが、国内の林業を再興し、森林を適切に管理していくことは、地球温暖化問題と大気中マイクロプラスチック問題の双方に対して有効な対策となり得ると言えます。これは単なる環境保護ではなく、資源を循環させて持続可能な社会を構築するサーキュラーエコノミーの実現に貢献できるものと考えます。

【 今後の課題 】

本研究により、森林樹冠に大量のAMPsが捕捉されていることがわかりましたが、葉面に捕捉されたAMPsはいずれ落葉とともに林床や森林域の土壌へと移行し、森林生態系に蓄積して森林生態系を破壊する可能性があります。そこで、今後は、樹冠のみならず、林床や土壌におけるマイクロプラスチック量やそれらに対する影響についても調査を進めていく必要があります。さらに、様々な樹種について葉面AMPs捕捉能を明らかにし、より効率的なマイクロプラスチック大気汚染対策を確立する必要があります。

【 バイオレメディエーションとは 】

バイオレメディエーション (bioremediation) は、生物を表すバイオ (bio) と修復を表すレメディエーション (remediate) を合成してできた言葉で、生物を用いて土壌や地下水等の汚染を修復する技術の総称です。微生物によるバイオレメディエーションは、1970年代に米国で、パイプから漏れた石油による汚染を修復するために微生物を用いたのが始まりで、その後、有機溶剤や残留農薬など、他の汚染物質の浄化にも利用されるようになりました。環境汚染浄化の技術的手法としては、物理的手法、化学的手法及び微生物機能活用等の生物学的手法が存在しますが、物理化学的な処理プロセスに比べて処理に時間がかかりますが、温和な条件のもと低コストで汚染を処理できるというメリットがあります。

バイオレメディエーションには、微生物を利用する技術として、外部で培養した微生物を導入することにより浄化を行う「バイオオーグメンテーション」と、栄養物質等又は酸素を加えて浄化場所に生息している微生物を活性化することにより浄化を行う「バイオスティミュレーション」があるほか、植物を利用して土壌の浄化等を行う技術である「ファイトレメディレーション」が含まれます。

○ 白亜紀中期の海洋生物の大量絶滅は7回の巨大火山噴火とアジア大陸東部の湿潤化が原因

2024年3月4日東北大学報道発表資料抜粋

東北大学と英国ダラム大学を中心とした研究グループは、北海道北西部苫前町において、「海洋無酸素事変2」の期間に堆積した世界で最も厚い地層を発見し、「海洋無酸素事変2（OAE2）」は、7回の火山活動の活発化によって起こったことを明らかにしました。

【 海洋無酸素事変2とは 】

白亜紀（1億4500万年前～6600万年前）の中ごろには、海洋において酸素に乏しい水塊が広域に発達した現象が何度か発生したことが知られており、海洋無酸素事変（Oceanic Anoxic Events、略してOAEs）と呼ばれています。白亜紀には8回程度の海洋無酸素事変（Faraoni OAE、OAE1a、Fallot OAE、OAE1b、OAE1c、OAE1d、OAE2、OAE3など）が起りましたが、無酸素水塊の発達範囲や海洋生物の絶滅率に関しては、「海洋無酸素事変2」が最大規模とされています。

【 研究の背景 】

現在、人間活動による二酸化炭素の放出により、急激な温暖化が起っています。今から、9450万～9390万年前にかけての60万年間、急激な温暖化による全地球規模の環境変動が起こったことが知られています。このイベントは「海洋無酸素事変2」と呼ばれ、温暖化した地球の未来像を予測するうえで重要視されています。

「海洋無酸素事変2」は、中央太平洋（カリブ海台、オントンジャワ海台）、北極圏巨大火成岩岩石区、あるいは、マダガスカル洪水玄武岩のいずれかの巨大火山の噴火によって発生したと考えられています（図1）。現時点ではどの火山の噴火によるものかは特定されていませんが、火山噴火によって放出された大量の二酸化炭素が温暖化を引き起こすとともに、世界中の海洋の広い範囲に無酸素水塊が広がり、海洋生物の大量絶滅が起こったと考えられています。この絶滅は、隕石衝突が起こった白亜紀末のものを除くと、白亜紀では最大規模の絶滅事件です。しかし、この「海洋無酸素事変2」を発生させた火山活動のタイミングや活動の持続期間、そして、火山活動と無酸素水塊の関連については不明な点が多くありました。

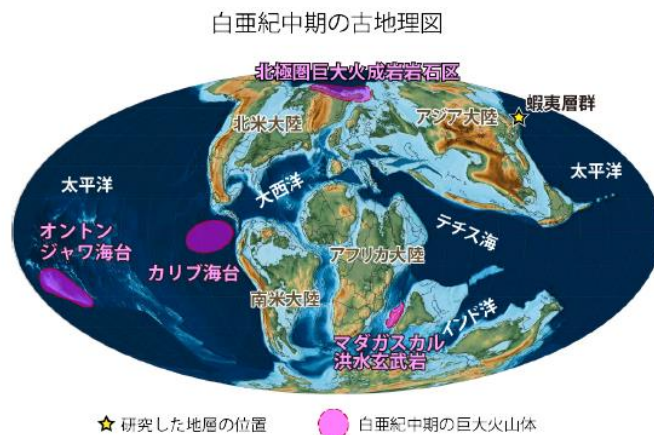


図1. 白亜紀の古地理図と検討した地層（蝦夷層群）、巨大火山体の位置

【 今回の取り組み 】

本研究では、北海道苫前町古丹別川支流の大曲沢川において、「海洋無酸素事変2」が発生した期間に堆積した地層を特定し、その地層の厚さが世界で最も厚いことを発見しました。北米やヨーロッパの「海洋無酸素事変2」の起こった時期の地層は、厚さ数m～数10mですが、大曲沢川の地層は590mに達するために、他地域の地層に比べてはるかに高い時間分解能で「海洋無酸素事変2」期間の環境変動の解析が可能です。また、この地層は、アジア大陸の東沖の北西太平洋の半深海底で堆積した泥が固結したものです。

この泥岩の中には、海洋のプランクトンや底生生物の化石に加えて、アジア大陸の地表から流れてきた植物の破片や粘土成分も多く含まれており、海洋と陸域双方の環境変動が記録されています。そのため、急激な温暖化に伴う海洋と陸域の環境変動を同時に検出することができます。

本研究では、苫前地域の「海洋無酸素事変2」期間に形成した地層を対象に、岩石の各種分析（オスミウム同位体比、炭素同位体比、イライトの結晶度、有機分子化石解析、無機元素組成の解析）を行いました。その結果、「海洋無酸素事変2」の発生期間中には、7回もの火山活動のピークがあり、そのうち少なくとも5回の極大期（図2の $^{192}\text{Os}/\text{Al}$ で示される1、2、4、5、6回目の火山活動極大期）には、アジア大陸東部で降雨の増加と植生の変化（裸子植物卓越から被子植物卓越へ）が起りました（図2、3）。降雨が増加した時期には、全世界的に海洋の溶存酸素量が大幅に減少したことも明らかとなりました。これは海洋表層の富栄養化によって大量の植物プランクトンが繁殖し、その遺骸が海水中を沈降する過程でそれら（遺骸）の分解に多量の酸素が消費されたせいと考えられます。この大量の植物プランクトンの繁殖は現在の赤潮と類似しますが、上述のイベントではその影響が地球規模に及んでいたものと考えられます。

白亜紀当時は、海水準が現在よりも大きく上昇したため、陸域は現在よりはるかに少なかったことが知られています。そのなかで、アジア大陸は当時地球上で最大の陸地であり（図1）、アジア大陸における降雨の増加は、海洋への栄養塩の供給源として最も有力な候補であると推測できます。

今回の研究結果は、アジア大陸東部の降雨の増加が、世界規模の海洋無酸素事変の引き金となった可能性を初めて実証した点で重要です。

【 岩石の各種分析から分かること 】

○ オスミウム同位体比

オスミウム（Os）は原子番号76の金属元素です。天然のOsには7つの同位体があり、そのうち ^{187}Os と ^{188}Os の比が地球化学分野で利用されています。大陸地殻を構成する岩石は $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ が高い値（約1.4）を取る一方、マントルの岩石や地球外物質は $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ が低い値（約0.126）を取ることが知られています。白亜紀には、日本列島の数倍の面積に達する巨大な玄武岩の火山が海底にいくつか形成されました。これらの火山の噴火の際には、マントルに含まれる ^{188}Os も大量に海水中に放出され、全海洋の海水の $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ が大きく減少しました。こうした変動は地層の中に記録され、過去の火山活動の変化を復元することが可能です。

○ 安定炭素同位体比

堆積物中の有機物や炭酸塩化石に含まれる炭素の2つの同位体 ^{12}C と炭素 ^{13}C の比を国際標準物質の炭素同位体比に対する千分率偏差で表したものです。植物は光合成を行うとき、 ^{12}C を選択的

に利用します。通常は、腐敗により CO_2 として大気に戻り大気中の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ は一定に保たれます。海洋無酸素事変で大量の有機炭素が堆積物中に埋没すると、この循環が止まり地層に記録された $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ は大きくなります。地層中の有機物や炭酸塩化石には当時の地球表層（大気や海洋中）の同位体比が記録されていることから、海洋無酸素事変の指標となります。

○ イライトの結晶度

イライトは粘土鉱物の一種で、大陸地殻を構成する岩石が風化することにより形成されます。イライトが形成された地域の気候（湿潤－乾燥）によって、その結晶度は変化する（乾燥するほど結晶度が高くなる）ため、当時の気候変動の指標となります。

○ 有機分子化石解析

地層中に残された生物由来の有機分子の中で、芳香族トリテルペノイドとジテルペノイドは、それぞれ、被子植物と裸子植物に由来します。このため、これらの有機分子の比は、当時の植生における被子/裸子植物比を反映します。

○ 無機元素含有量

泥岩に含まれる各種無機元素のうち、カリウムとルビジウムの比は、当時の大陸風化の強弱を反映し、風化が強まるほど、堆積物に含まれるルビジウムに対するカリウムの比率が高くなります。一方、泥岩中の黄鉄鉱化した鉄の量（パイライト化度）は、地層ができた当時の海洋底層の溶存酸素量の指標となります。海底の溶存酸素が減少するほど、海底では多くの硫化水素 (H_2S) が発生して堆積物中の鉄と結合して黄鉄鉱 (FeS_2) が生じるために、パイライト化度は高くなります。

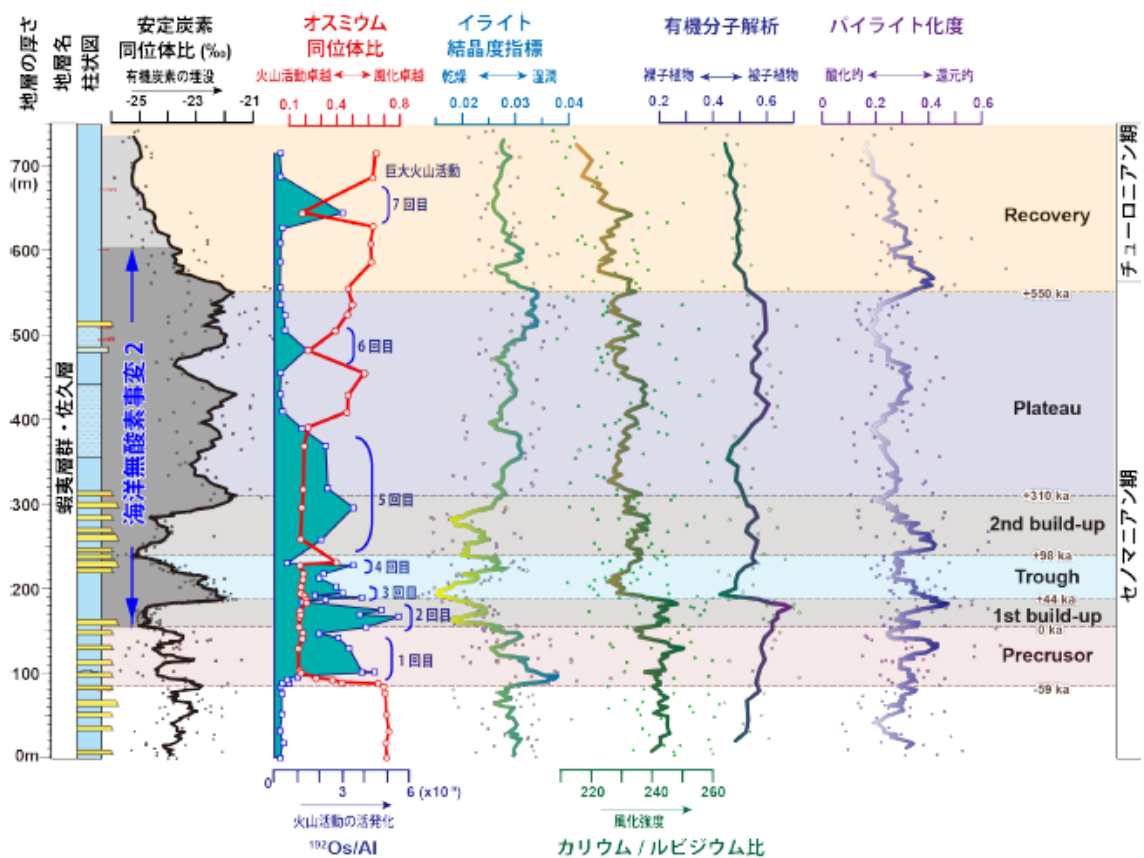


図 2. 蝦夷層群の各種分析の結果

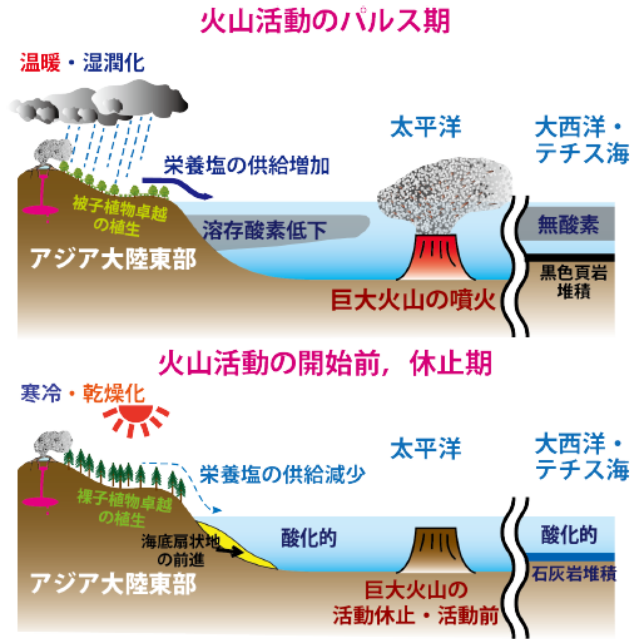


図 3. 海洋無酸素事変 2 における火山活動、気候、海洋環境、アジア大陸東部の植生変化との関係

編集後記

3月31日でJR「根室本線」の富良野から新得間が廃止されました。沿線には、ドラマ「北の国から」や映画「鉄道員」のロケ地などの観光名所が点在しています。筆者の思い出は、学生時代に道南方面へキャンプに行き、札幌から夜行普通列車「からまつ」に乗り帰ったことです。帯広駅に朝6時前に着いたためバスは動いておらず、重い荷物を担いで下宿先に歩いて帰った記憶があります。さらに、「からまつ」はその年の秋に廃止になり、貧乏学生の強い味方が無くなって残念な思いをしました。その後、「石勝線」が開通して道東と札幌の所要時間が、かなり短縮されたため、それ以降「根室本線」は利用しなくなりました。近年では、高速道路が整備されつつあり、その上高速バスも走っています。歴史がある路線が無くなることは寂しいことですが、致し方ないかもしれません。(A.K)



株式会社 愛 研

(<https://ai-ken.co.jp>)

本 社 〒463-0037 名古屋市守山区天子田 2-710

電話(052)771-2717 FAX(052)771-2641

半田営業所 〒475-0088 半田市花田町 2-65

電話(0569)28-4738 FAX(0569)28-4749

