

## (2) 日高山脈

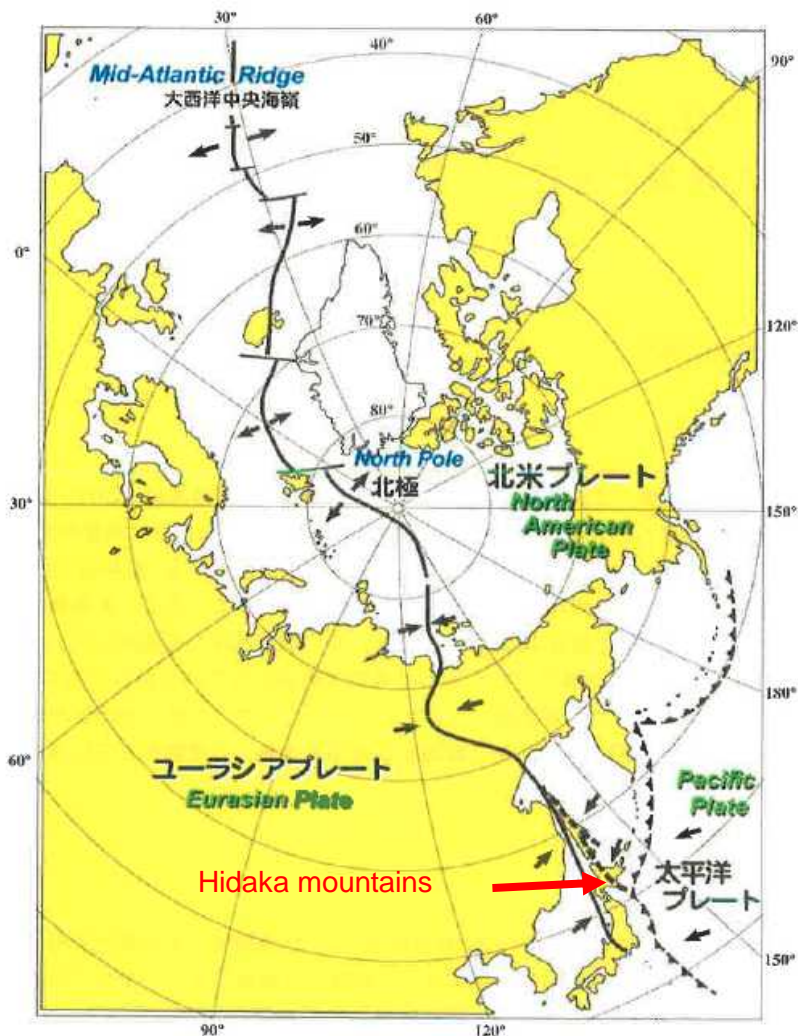
### 1) 事前説明資料

#### 1. 地域の自然の概要

##### 1-1 地質・地形

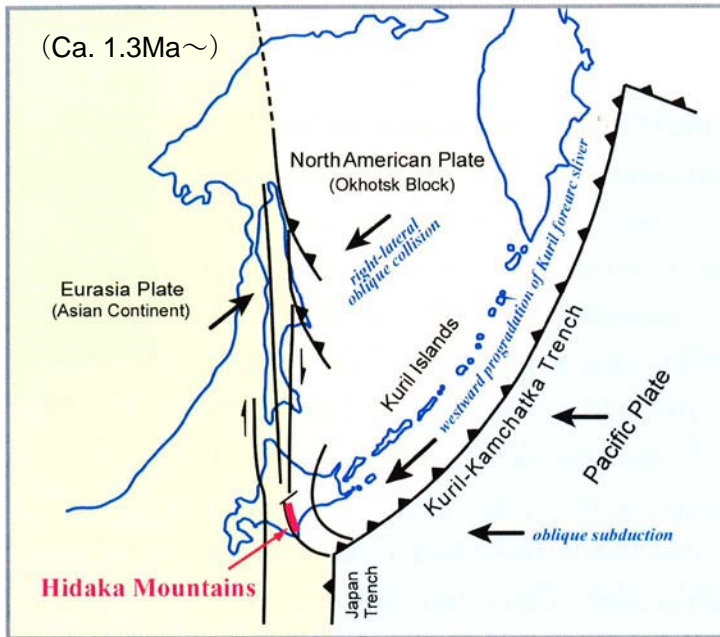
日高山脈は、北海道中南部に位置する南北 150km 以上に及ぶ脊梁山脈である。最高地点は 2,052m の幌尻岳で、主稜線はおおむね 1,500m~2,000m である。主稜線の周囲には、100 カ所を越すカールや氷河堆石堤（モレーン）などの氷河地形が分布している。

日高山脈は山脈上昇を開始した頃（約 1,300 万年前）2 つの巨大プレート（北米プレートとユーラシアプレート）の境界に位置していた。北海道の裏側の大西洋には大西洋中央海嶺があり、そこは北米プレートとユーラシアプレートの拡大境界となっている。この拡大境界は北極点付近で衝突境界に転じ、北海道付近はこの 2 つの巨大プレートが衝突する場所となっている。白亜紀以降、大西洋が拡大し続け、その裏側ではプレートの衝突が進行し、その結果日高山脈が形成された。



(Niida, 2012 を改変)

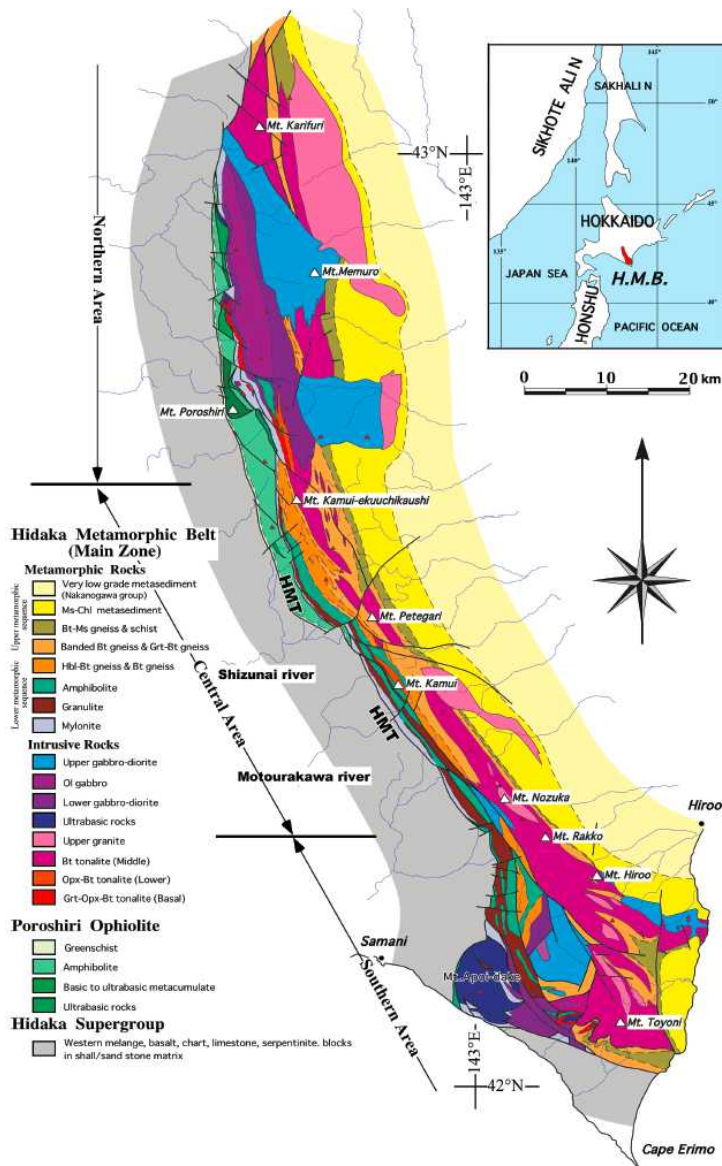
Map showing structural setting of the Hidaka Mountains.



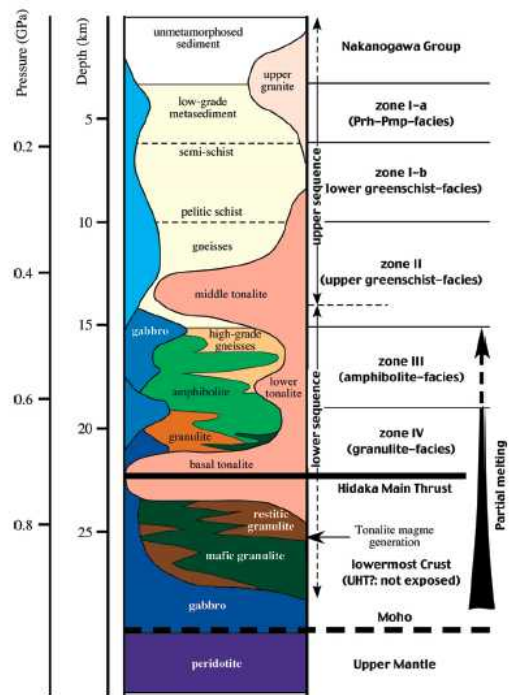
(Ui et al., 1999 を改変)

東側の日高変成帯と西側の変成したかつての海洋地殻の断片であるポロシリオフィオライトの接合衝上帯であり、両者の境界は大規模な衝上断層（日高主衝上断層）となっている。

山脈の大部分を占める日高変成帯は、古第三紀以降に形成された若い地質時代の島弧地殻で、深成岩類や変成岩類からなる。変成岩類は西部にグラニュライト相岩石など深部相岩石が露出し、東に向かい変成度が低下して、より浅部相の岩石が見られ、深成岩類も西には深部相を示すはんれい岩類、東には浅部相の花崗岩類、中央部の主稜付近にはトーナル岩類が見られる。これらの地質はその岩石が地下で形成されたときの地質温度と圧力の履歴解析から二十数 km の厚さを持つ連続的な地殻断面として復元されている。このように、日高変成帯は島弧リソスフェア（上部マントル～上部地殻）の地質断面が東西地質断面として地表に露出したものであり、島弧の地下で起こったマグマ発生の地質イベントを地表で観察できる場所として学術的に貴重である。



第1図 日高変成帯地質図 (小山内ほか, 2006を一部改変)。



第2図 日高変成帯主帯の模式柱状図 (小山内ほか, 2006; 原図は小松ほか, 1986)。

(小山内ほか 2007)





部分溶融による溶け残り岩(レスタイト)とみなされるざくろ石-グラニュライト。



苦鉄質グラニュライト中の部分溶融で生成された自形斜方輝石含有リュウコゾーム。

日高変成帯にみられる下部地殻の高度変成岩。地殻断片の衝上帯である日高変成帯の西縁部には、下部地殻由来の典型的な高温型変成岩が広範に分布し、様々な地殻深部現象を直接観察できる。(小山内2010)

また、日高変成帯の西端にはリソスフェアの最下部を構成する上部マントルかんらん岩が分布する。このうち最大の露出がアポイ岳周辺のかんらん岩で、面積は10×8kmに及ぶ。このかんらん岩は変質を受けていない上部マントル鉱物からできている。また、岩体を構成する岩石タイプが極めて多彩である。このように新鮮（変成作用を受けておらず上部マントルの情報をそのまま保持している）で且つ多様なタイプのかんらん岩から成り、大規模に露出するアポイ岳のかんらん岩は「幌満かんらん岩体」として世界的に有名で、玄武岩質マグマの生成や上昇移動、リソスフェア深部のマグマプロセスなど上部マントルで起こる地学現象の解明に関する膨大な研究の対象となっている。

## 1-2 植物相

日高山脈では標高の違いによる植生の垂直分布が見られる。下からトドマツやエゾマツ、ダケカンバなどが混生する針広混交林、ダケカンバ林、ハイマツ林、高山植物群落が分布する。

高山植生の分布域は狭いが、固有種や希少種が多い。ヒダカミネヤナギ、カムイビランジ、ヒダカゲンゲ、ヒダカミヤマノエンドウのような固有種や、オヤマソバ、ミヤマシオガマなどの希少植物は特に風衝地域に見られる。現在、日高山脈で確認された固有種は9種、固有亜種は7種である。

当地域の山脈北部のかんらん岩・蛇紋岩からなる超塩基性岩（アルカリ性の強い岩石）岩塊地では、ユキバヒゴタイやカトウハコベ等この地質に限られた植物群落（超塩基性岩植物）が見られる。一般に超塩基性岩の山には固有植物が発達しやすく、山脈南西端に位置するアポイ岳では、エゾコウゾリナなどの固有な超塩基性岩植物が数多く見られる（アポイ岳固有種5種、固有変種8種、固有品種4種が確認されている）。アポイ岳は標高が低く小さな山塊にも関わらず、後氷期一万年の間森林化せず、高山植物や超塩基性岩植物が生育し、超塩基性岩の影響を受けた固有種・固有変種・固有品種の割合が高い。

日高山脈で確認された高等植物種数は94科346属684種47変種20品種であり、IUCN レッ

ドリストにはケショウヤナギ（危急種）が含まれる。

### 1-3 動物相

日高山脈の哺乳類相には、氷河期の遺存種といわれるエゾナキウサギやミヤマムクゲネズミが生息し、大型哺乳類を含め 20 種ほどが確認されている。鳥類はハイマツ帯から山麓部の森林帯にかけて 28 科 91 種が記録されている。爬虫類は 3 種、両生類は 2 種が確認されている。昆虫類に関し、チョウ類では天然記念物であるカラフトルリシジミ、ダイセツタカネヒカゲが生息し、アポイ岳周辺のみ生息するヒメチャマダラセセリは環境省レッドリストの絶滅危惧 I A 類(CR)に含まれる。陸産貝類ではアポイマイマイ、甲虫類ではチビゴミムシ類など北海道の他では見られない固有種が多く確認され、日高山脈の昆虫類は 9 目 71 科 440 種が報告されている。

## 2. 世界遺産としての価値の可能性

### 2-1 概要

日高山脈は、古第三紀以降に進行した 2 つのプレートの衝突によって形成された褶曲山脈であり、プレート境界における主要な地殻形成や構造的特徴を示す、地球の歴史の主要な段階を代表する顕著な例である。日高山脈は島弧地殻（日高変成帯）と海洋地殻の断片（ポロシリオフィオライト）の接合衝上帯である。このうち日高変成帯には地殻浅部から地殻深部に至る変成岩層序がよく保存されており、連続的な地殻断面として露出する。さらに、日高変成帯の構造的な最下部は上部マントル物質のかんらん岩であり、日高主衝上断層に沿って露出する。このかんらん岩体は極めて新鮮（変成作用を受けておらず上部マントルの情報をそのまま保持している）で且つ多様なタイプのかんらん岩から成る。特にアポイ岳のかんらん岩体（幌満かんらん岩体）は最も大きな露出面積を持つことから、世界的に最もよく調べられており、地球科学の根幹に及ぶ多彩な研究の対象となっている。

上部マントルから地殻浅部の連続的な地質断面が形成時にほぼ近い状態で地表に露出している地域は世界的に珍しく、島弧におけるマグマの発生・上昇過程を理解する上での顕著な見本として極めて高い学術的価値を持つ。

### 2-2 日高山脈を構成するの岩石（島弧リソスフェアの断面）

日高山脈の特徴、世界に誇る価値は次の 4 点にまとめられる。

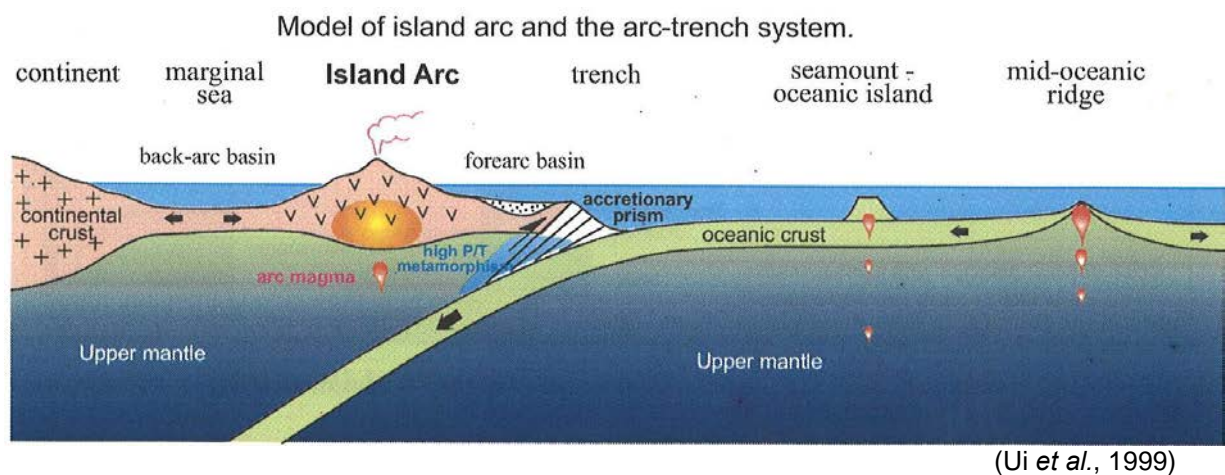
1. 日高山脈は、活発に活動する島弧のリソスフェア深部を代表する地質と岩石からできている。
2. その地質と岩石は、上部マントルから地殻浅所の岩石まで規則正しく成層し、連続的に観察することができる。
3. このような地質と岩石が地表に露出している地域は、世界的に珍しい。
4. その形成年代は新生代（55～17Ma）で、極めて新しい（若い）。そのために、日高山脈の全ての岩石が、島弧リソスフェア深部でできたときの貴重な学術情報をほぼそのまま残している。

日高山脈の東西方向の連続的な岩石の露出は、横倒しにして見ると、元の生成場所である深さ

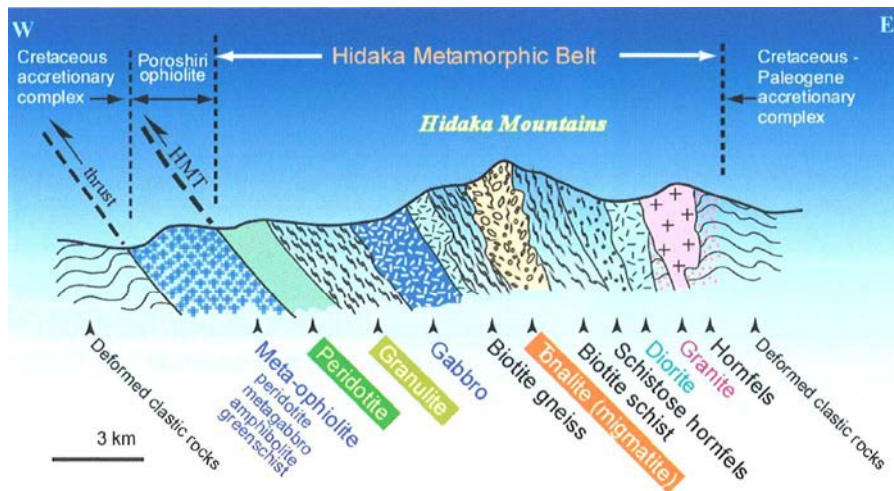
約 30km の地殻の断面と一致する。上部マントルからモホ面を挟んで地殻上部に至る変成岩の連続した地質体のセットは、様々な学術的な要求に応えられる非常に貴重なものである。

しかし、島弧地殻を含むものは世界に日高山脈とパキスタン北部のコヒスタン帯の 2 箇所しか知られていない。地殻断面が露出する条件は大規模な地殻変動が起きるプレート収束帯にあることであるが、この 2 地域を除いて地殻は断片的にしか露出しないか、構造的に削られて露出しない。日高山脈とコヒスタン帯だけは運良く連続的な地殻断面が残った。

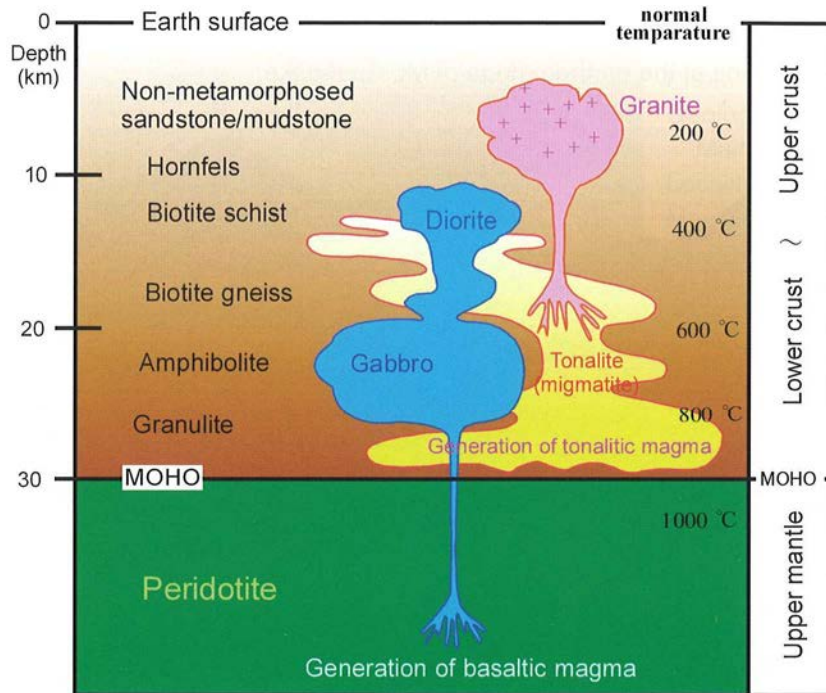
以上のような日高山脈の地質が持つ価値は、地球スケールの大地の動きを学べる点や、それを知るための標本が直接得られる点にある。島弧発達の解明にも重要な貢献をしている。例えば、火山現象は地表面象であり、噴出物から地下 10km 辺りのマグマだまりに関する情報が得られるが、それだけでは解明できないことが多い（例えば、そのマグマだまりはどのように熱せられたのか等）。地表からのアプローチには限界があるので、地下のことをより正確に理解するには岩石標本を入手する必要がある。日高山脈では、通常入手できない地殻深部の岩石標本を得ることができる。







Geological profile of the Hidaka Range, showing a continuous lithological change from west to east. (Ui et al., 1999)



Schematic profile, showing magmatic activities and metamorphism generated in the Hidaka lithosphere at the stage of maximum geotherm. (Ui et al., 1999)

日高島弧地下を構成する岩石は、変成岩と深成岩からなる。変成岩は、地下の地温勾配に沿って異なる変成程度の岩石が形成される。最下部の変成岩はグラニュライトで、浅くなるにしたがい角閃岩、黒雲母片麻岩、ホルンフェルスが形成された。深成岩は地下のマグマ活動の結果形成されたものであるが、地殻深部と上部マントルかんらん岩との起源の異なる 2 種類のマグマが同時に発生して形成された。それぞれのマグマから生成する深さにより異なる岩石が形成され、前者からはトータル岩や花崗岩、後者からははんれい岩や閃緑岩が生成した。これらの変成岩と深成岩からなる地下の深部構造は島弧特有のものであり、日高山脈の西から東に向かって連続断面として産出する。

### 2-3 幌満かんらん岩体（島弧リソスフェア最下部の上部マントルかんらん岩）

アポイ岳周辺には上部マントルかんらん岩（幌満かんらん岩体）が大規模に露出する。このかんらん岩は変成作用を受けていないため、マントルでできた鉱物の組織と化学組成が非常に良好に保存されており、しかも、それが10×8kmの規模で露出する。地下深部の情報が残っている新鮮なかんらん岩という点では世界一の規模である。

また、起源の異なる4つのタイプのかんらん岩があり多彩である。起源が異なるということは形成された時代や場所が異なるということで、中央海嶺でできた岩石や、より若いステージに島弧でできた岩石などが含まれ、学術的に価値が高い。岩石学的には地球の最上部マントルかんらん岩の組成範囲に相当する岩石タイプからなる。

このように、変成作用を受けずに上部マントルの情報をそのまま保持し、且つ様々なタイプのかんらん岩を包有し、さらにそれが大規模に露出するという点で世界に他に例を見ない。このことから研究分野は多岐にわたり、学術的な価値（研究の質と量）が高く、国際的に有名である。

かんらん岩は世界中の多くの場所に産するが、多くの場合何らかの変成作用を受けて元の性質がリセットされてしまう。それに対し、幌満かんらん岩体は変成を受けていない地球深部の学術情報を持っている。したがって、幌満かんらん岩体は、上部マントルの情報を持つ岩石として顕著で普遍的な価値を持つと考えられる。

A spectacular view of the peridotite mountains at the northern ridge of Mt. Apoi-dake.



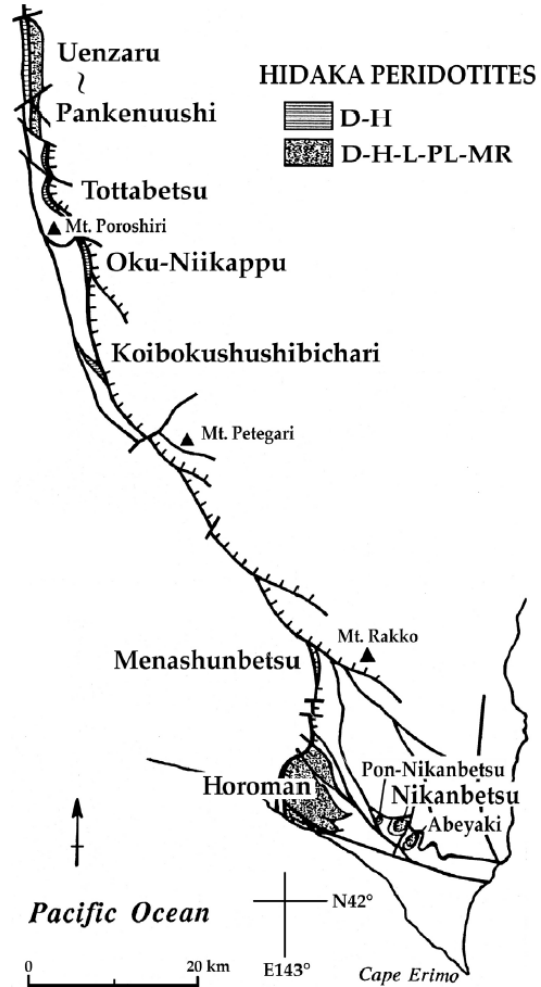
(Ui et al., 1999)





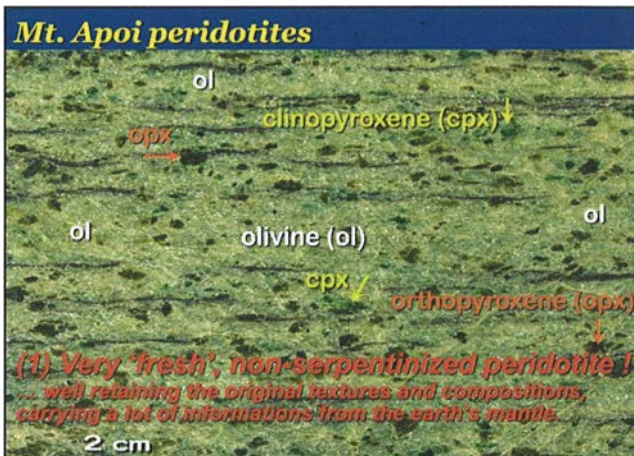
Well-layered peridotite exposed on the western ridge of Mt. Apoi-dake. Plagioclase lherzolite and dunite interlayered with gabbroic mafic rocks. (Peak in background is Mt. Apoi-dake.)

(Ui *et al.*, 1999)

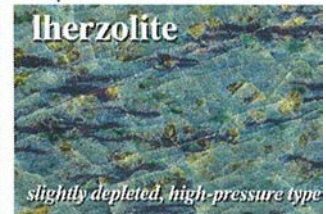


Peridotite in the Hidaka Mountains. (Niida & Takazawa, 2007)

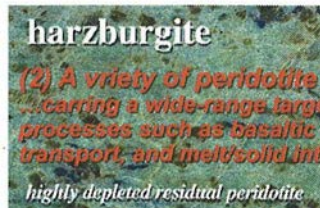
D: dunite, H: harzburgite, L: lherzolite, PL: plagioclase lherzolite, MR: mafic rock.



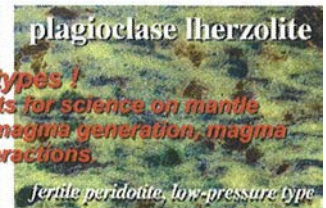
dunite  
crystallized in basaltic magma channels



lherzolite  
slightly depleted, high-pressure type



harzburgite  
(2) A variety of peridotite types!  
... carrying a wide-range targets for science on mantle processes such as basaltic magma generation, magma transport, and melt/solid interactions.  
highly depleted residual peridotite



plagioclase lherzolite  
fertile peridotite, low-pressure type

(Niida, 2014)

### 3. 比較事例

#### 3-1 上部マントルから地殻浅所までの連続的な地質断面

地殻が露出するには大規模な地殻変動が起きるプレート収束帯でなければならないが、多くの場合は地殻は断片的にしか露出しないか、構造的に削られて露出しない。島弧（大陸）地殻の岩石の露出という点では、アルプスのイブリア帯などが知られており、海洋地殻の岩石の露出という点ではオーストラリアのマッコリー島（世界遺産登録地）などが知られているが、島弧リソスフェアの岩石が連続して露出する場所は、世界では日高山脈の他にパキスタン北部のコヒスタン帯が知られている。コヒスタン帯は火山岩が上部に残っている点の特徴だが、調査が困難な条件下にある。

コヒスタン帯は白亜紀の島弧で、蛇紋岩塊、モホ面、中部地殻、塩基性トータル岩、変成岩、火成岩、浅海堆積物、火山岩などが分布し、地殻の岩石が連続して露出する。日高山脈にないコヒスタン帯の持つ特徴は火山岩が上部に載っている点である。

一方、日高山脈が優れている点として、まず、研究が進んでいる点が挙げられる。コヒスタン帯は山岳地帯であり、紛争地帯であり、調査が困難な条件下にある。そのため、地質の重複関係などがきちんと調べられておらず、模式的な柱状図ができていない。それに対し、日高山脈は正確な地質図や柱状図があるだけでなく、島弧リソスフェアの地温勾配の復元もなされている。もう1点は、上部マントルかんらん岩が蛇紋岩化しておらず、改変を受けていない上部マントルの情報を保持している点が挙げられる。

#### 3-2 大規模に露出する新鮮で多様なかんらん岩

上部マントルと地殻の断面が地上に露出する世界自然遺産地域として、例えばマッコリー島がある。マッコリー島は、上部マントルが露出する点は日高山脈と共通するが、その上部が海洋地殻の断面である点が異なる。マッコリー島のような陸上に露出する海洋地殻とマントルとの組み合わせは世界中によく見られるもので、典型的なものとしてオマーンやトルドス（キプロス）などが知られている。これに対し、日高山脈で見られるのは島弧地殻の断面であり、構成する岩石や起源、起きている地質現象が異なる。造山運動や火山活動などの活動的な地上現象が起き、大陸が成長する前線となっているのは島弧であることから、島弧リソスフェア断面の見られる日高山脈は、海洋地殻の見られる地域とは異なる独自の価値を有していると言える。

### 4. 課題

日高山脈に見られる島弧リソスフェアの連続的な断面は、地球の歴史の主要な段階を代表する顕著な見本に当たる可能性がある。しかし、IUCNのテーマ研究で示された13のテーマのうち、「プレートテクトニクスおよび地殻形成」に関する登録物件は前例が極めて少なく、登録の指針も明確ではないため、遺産の価値として認められるか不明である。

既存の登録物件であるマッコリー島の主要な違いは、海洋地殻と島弧地殻との違いである。これらは地学上の位置づけや価値が全く異なるものであるが、その違いは専門的と判断される可能性がある。

幌満かんらん岩体に関しては、上部マントル物質という観点では、プレートテクトニクスやプ

リュームテクトニクス、陸上の火山活動を含むマグマ活動等と密接に関連する重要な事項を記録するものであり、地球の歴史の主要な段階を代表する顕著な見本に該当すると考えられる。しかし、かんらん岩という単体の岩石として捉えられると、狭い分野の特殊な価値と見なされる可能性がある。



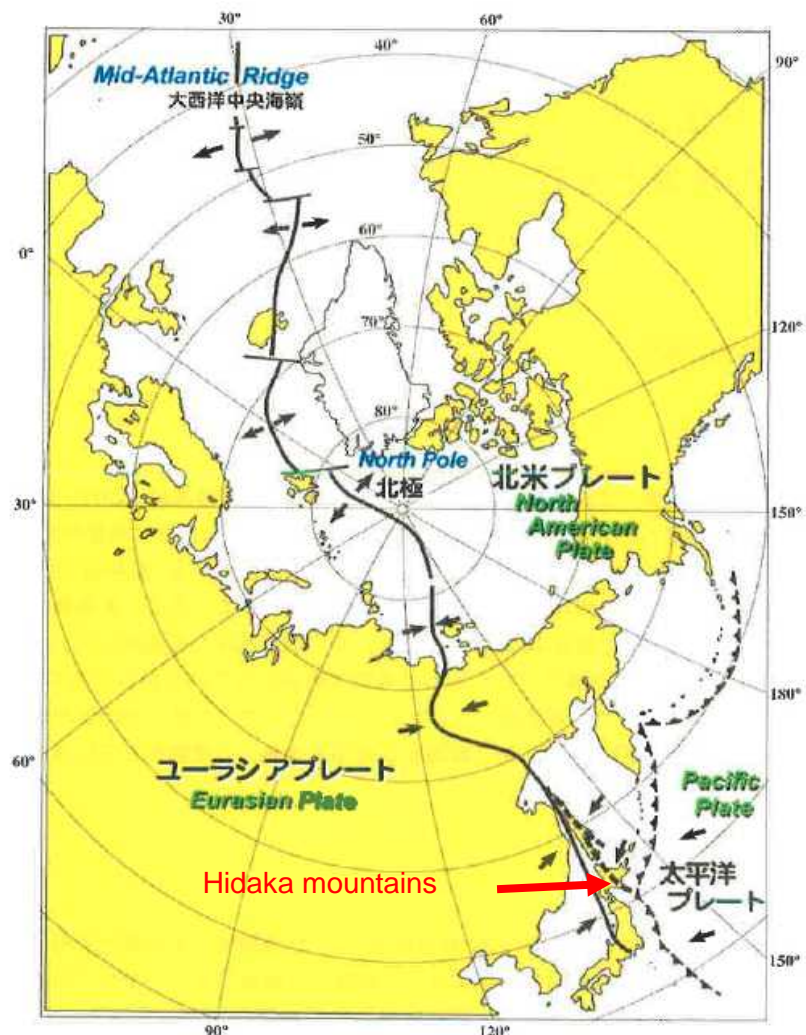
# Hidaka Mountain Range

## 1. Description of the Natural Environment

### 1-1. Geology and Topography

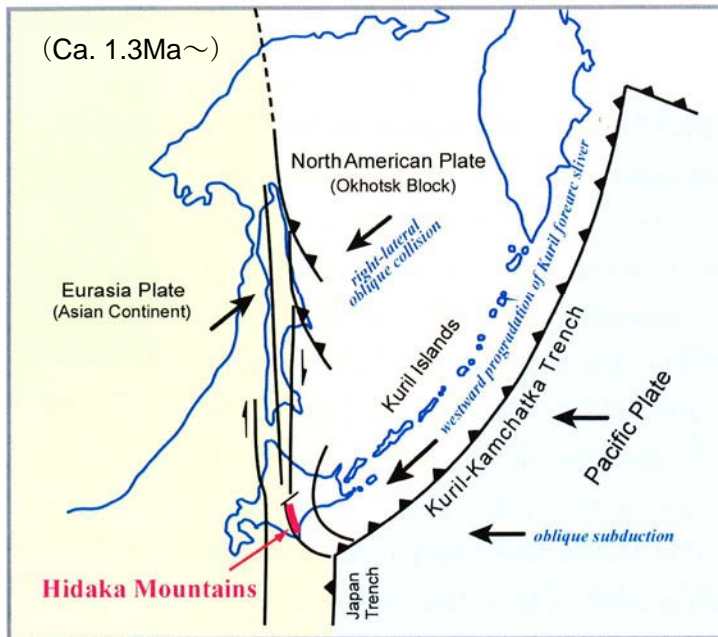
The Hidaka Mountain Range is a mountainous backbone stretching about 150 km N-S in south-central Hokkaido. At 2,052 meters above sea level, the highest peak is Mt. Poroshiri (Poroshiri-dake). Rising 1,500 to 2,000 meters, the main ridges feature cirques, moraines, and other glacial landforms at more than 100 locations.

When the rise of the Hidaka Mountain Range began some 13 million years ago, the region was positioned at the boundary of two giant plates, the North American Plate and the Eurasian Plate. On the side of the Earth opposite Hokkaido lies the Mid-Atlantic Ridge, a divergent tectonic boundary between the North American and Eurasian Plates. This divergent boundary changes into a convergent boundary near the North Pole, and in the Hokkaido region, the two giant plates are colliding with each other. The Atlantic Ocean has been expanding since the Cretaceous Period, inducing the collision of tectonic plates on the opposite side of the Earth and forming the Hidaka Mountain Range.



(Niida, 2012)

Map showing structural setting of the Hidaka Mountains.

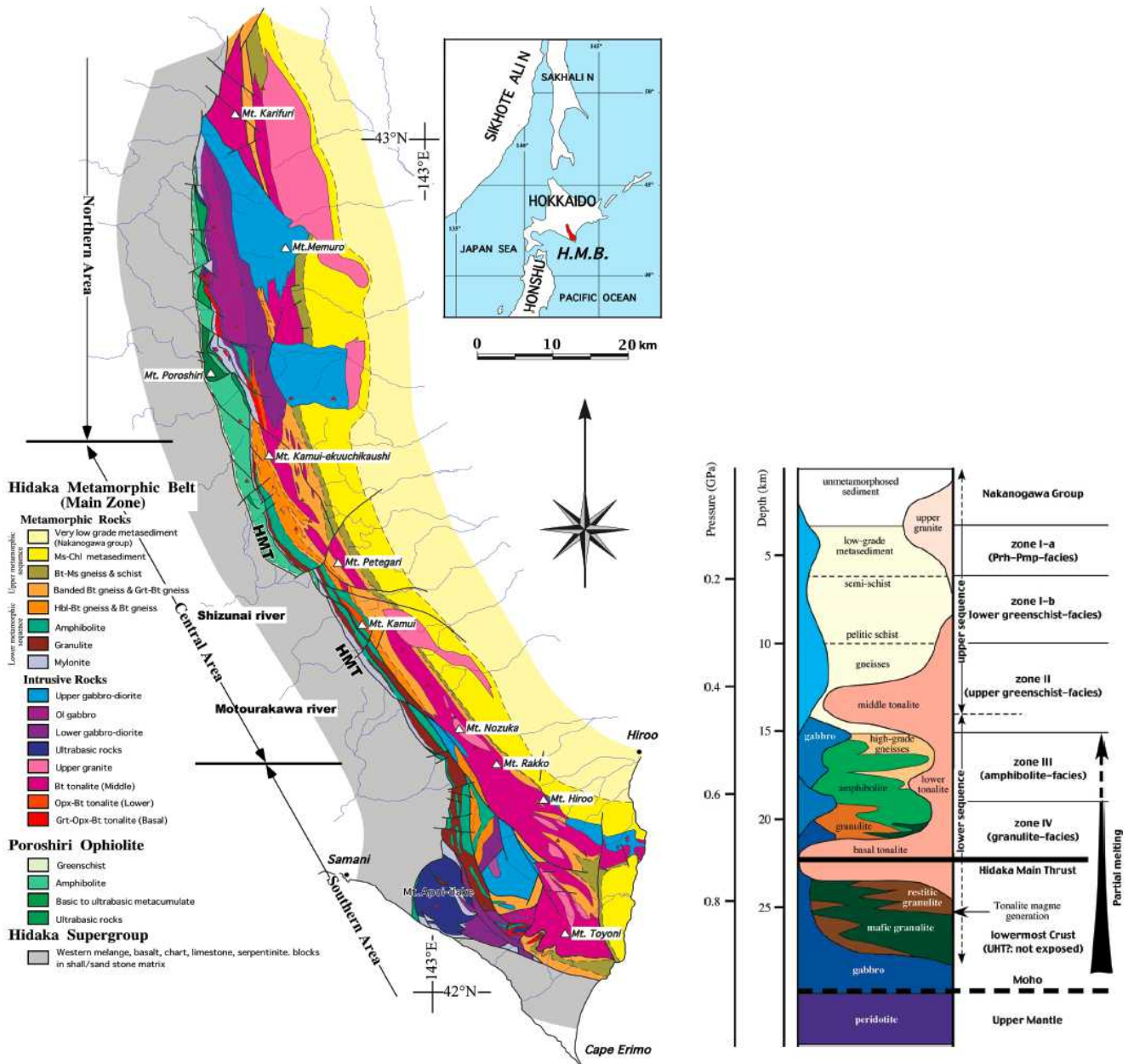


(Ui *et al.*, 1999)

The Hidaka Mountain Range is a collision (overthrust) zone formed by the Hidaka metamorphic belt to the east and the Poroshiri ophiolite to the west, a metamorphic fragment of what was once oceanic crust. A massive thrust fault—the Hidaka Main Thrust—has formed at the boundary between the two formations.

Composing most of the mountain range, the Hidaka metamorphic belt consists of plutonic and metamorphic rocks that were part of the island arc crust formed in geological eras after the Paleogene. The western regions feature exposed high-pressure metamorphic rock such as those in the granulite facies. The metamorphic grade decreases towards the east side, where more low-pressure metamorphic rocks are found. The composition of the plutonic rocks exhibits a similar trend. High-pressure gabbros are distributed in the western regions and low-pressure granite in the eastern regions. Tonalites are found in the central regions around the main ridges. Based on geothermometric and geobarometric methods for determining the history of formation of these rocks below the ground, scientists have reconstructed a continuous lithospheric cross-section believed to measure more than 20 km in thickness. The Hidaka metamorphic belt has special geological significance as a field where a vertical profile of the island arc lithosphere (from upper mantle to upper crust) lies exposed above water as

an E-W cross section, allowing researchers to study, at the earth's surface, tectonic events that occurred underground associated with magma genesis in an island arc environment.



Simplified geological map and idealized crustal succession of the Hidaka Metamorphic Belt. (Osanai *et al.*, 2007)





Garnet granulite interpreted as restite after partial melting.



Leucosome containing idiomorphic orthopyroxene generated by partial melting within mafic granulites.

### High-Grade Metamorphic Rocks of the Lower Crust Observed in the Hidaka Metamorphic Belt. (Osanai, 2010)

High-temperature metamorphic rocks typical of those originating in the lower crust are widely observed in the western margin of the Hidaka metamorphic belt, a thrust zone of crust fragments, allowing direct observation of various deep crustal processes.

In addition, upper-mantle peridotites that comprise the lowermost part of the lithosphere lie exposed on the western margin of the Hidaka metamorphic belt. The largest outcrop is the peridotite found in the Mt. Apoi (Apoi-dake) area, which extends  $10 \times 8$  km. This peridotite consists of upper-mantle derived minerals not subjected to metamorphism. A diverse range of rock types form the peridotite bodies. Untouched by metamorphism and retaining information on their upper mantle origins, the Horoman Peridotite Complex, as these diverse types of massive, exposed peridotites are known worldwide, are extensively studied to elucidate the geological processes of the upper mantle, including the genesis and upward transport of basaltic magma and magmatic processes in the deep lithosphere.

### 1-2. Flora

The Hidaka Mountain Range features a vertical distribution of vegetation corresponding to differences in altitude. Mixed forest of coniferous and broad-leaved trees comprised of Sakhalin fir *Abies sachalinensis*, Yezo spruce *Picea jezoensis*, and Erman's birch

*Betula ermanii*; Erman's birch forest; Japanese stone pine *Pinus pumila* forest; and alpine plant communities are distributed from low to high elevations.

While the distribution area of alpine vegetation is limited, many endemic and rare species can be found here. Endemic species such as *Salix nakamura* subsp. *kurilensis*, *Silene hidaka-alpine*, *Oxytropis revoluta* subsp. *kudoana*, and *O. retusa* and rare species such as *Pleuropteropyrum nakaii* and *Pedicularis apodochila* occur especially in the wind-swept regions. Currently, nine endemic species and seven endemic subspecies have been confirmed in the Hidaka Mountain Range.

Ultrabasic (strongly alkaline) rocks comprised of peridotites and serpentinites are distributed in the northern parts of the Hidaka region. Plant communities that can inhabit such an environment (ultrabasicolous plants) occur in this region, such as *Saussurea chionophylla* and *Arenaria katoana*. In general, mountains formed of ultrabasic rocks are likely to feature endemic plant communities. Mt. Apoi, located in the southwestern margin of the mountain range, features numerous endemic ultrabasicolous plants, including *Hypochoeris crepidioides*. (Five endemic species, eight endemic varieties, and four endemic formae are known on Mt. Apoi.) Despite its low elevation and small scale as a mountain mass, little forestation has occurred in the Mt. Apoi region during the nearly 10,000 years of the postglacial period. Instead, alpine plants and ultrabasicolous plants have taken root. The fractions of endemic species, varieties and formae are higher than in other regions, reflecting the effects of the ultrabasic rocks.

Higher plant species confirmed to be present in the Hidaka Mountain Range include 94 families, 346 genera, 684 species, 47 varieties, and 20 formae. *Salix arbutifolia* has been assessed as VU on the IUCN Red List.

### **1-3. Fauna**

The mammalian species in the Hidaka Mountain Range include the northern pika *Ochotona hyperborea yesoensis* and *Clethrionomys montanus*, both believed to be relict species from the glacial period. Some 20 mammal species, including larger mammals, have been confirmed.

Birds species recorded from the Japanese stone pine forest zone to the foothills forest zone include 91 species belonging to 28 families. Three reptile species and two amphibian species have been confirmed. Notable insects include *Vacciniina optilete daisetsuzana* and *Oeneis melissa daisetsuzana*, which have been designated natural monuments of Japan. *Pyrgus malvae malvae*, found only in the Mt. Apoi area, is listed as Threatened IA species (CR) on the Ministry of the Environment Red List. Other species include the terrestrial gastropod *Paraegista apoiensis* and the Trechinae, which are coleopterous and species endemic to Hokkaido. Insect species confirmed in the Hidaka Mountain Range include 440 species belonging to 71 families in nine orders.

## **2. Proposed OUV**

### **2-1. Overview**

The Hidaka Mountain Range is a fold mountain formed by the collision of two tectonic plates starting in the Paleogene. It is a prime example of a major stage in the Earth's history, exhibiting the features of tectonic structures and crustal formation characteristic to plate boundaries. The Hidaka Mountain Range is a collision (overthrust) zone formed by island arc crust (Hidaka metamorphic belt) and a fragment of the oceanic crust (Poroshiri ophiolite). Sequences in the Hidaka metamorphic belt from the shallow to the deep crust are well preserved in metamorphic rock and are now exposed on the surface as a continuous crustal cross section. Furthermore, the upper-mantle peridotites present in the structurally lowest part of the formation lie exposed along the Hidaka Main Thrust. These peridotites are extremely fresh (i.e., free of metamorphism and retaining information from their upper mantle origin) and diverse in type. The Horoman Peridotite Complex, a peridotite massif in the Mt. Apoi area, features the largest exposed area and is among the most extensively studied areas in the world as part of various research efforts seeking to elucidate fundamental processes in geoscience.

The Hidaka Mountain Range is among a few places in the world where one can observe, lying exposed and on the surface, a continuous tectonic cross section from the upper mantle to the



shallow lithosphere, in which the original relationship during formation is nearly perfectly preserved. The area offers great scientific significance as a representative field for elucidating geological processes such as genesis and the upward transport of magma in an island arc setting.

## **2-2. Rocks Comprising the Hidaka Mountain Range (Cross Section of the Island Arc Lithosphere)**

The characteristics of the Hidaka Mountain Range, that we boast to the world, are summarized in the four points below:

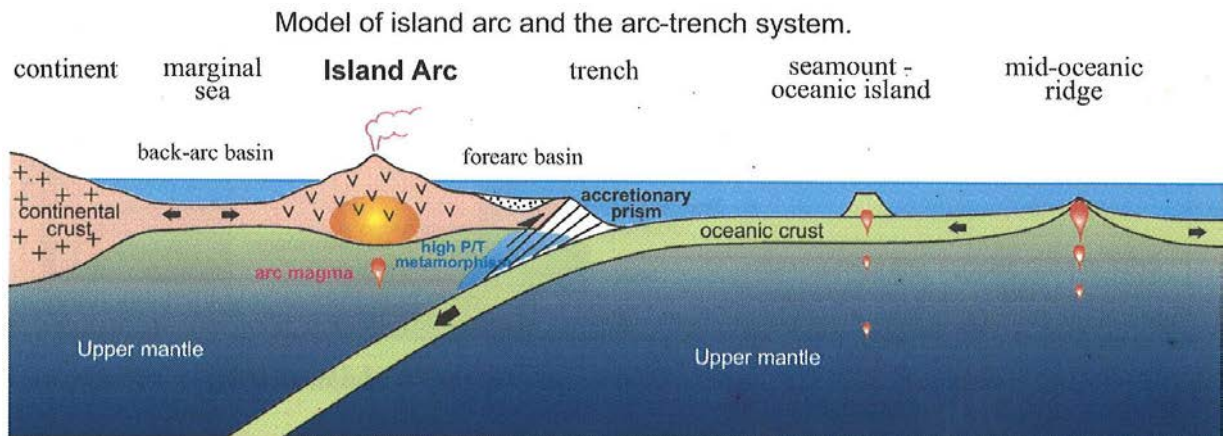
1. The Hidaka Mountain Range consists of geology and rocks representative of the deep parts of the island arc lithosphere where tectonic activity is high.
2. The geology and rocks forming the mountain range are layered in order, from the upper mantle to the shallow crust, and can be observed continuously.
3. It is among the few places in the world where such geology and rocks can be found exposed on the surface.
4. Their formation is very new (young) and has been dated to the Cenozoic (55-17 Ma). Thus, all the rocks comprising the Hidaka Mountain Range almost perfectly retain valuable scientific information on their genesis in the deep island arc lithosphere.

The continuously exposed stretch of rocks in the E-W direction in the Hidaka Mountain Range correspond to a flattened view of a cross section of the lithosphere approximately 30 km thick at the place of their genesis. The set of geologic bodies can be considered a continuous sample of rocks from the upper mantle upward through the Moho discontinuity, to metamorphic rocks in the upper crust, and provides an invaluable field for various scientific research.

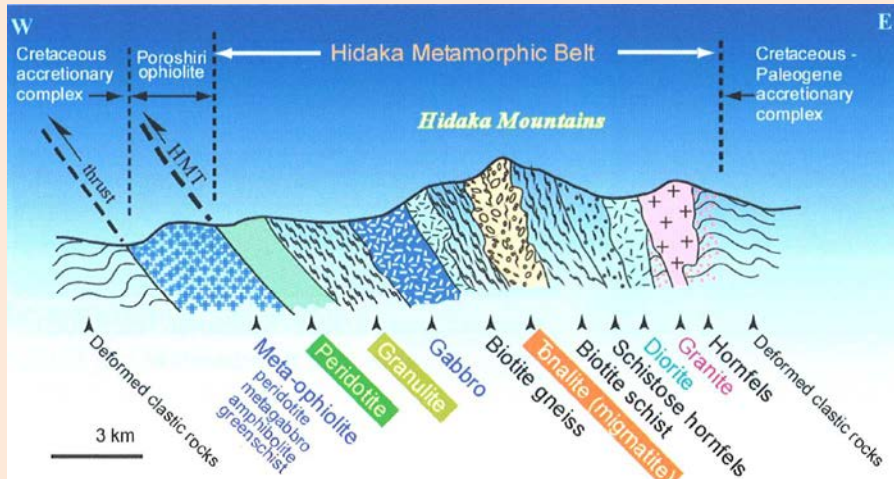
Invaluable as they are, only two plate boundary metamorphic belts in the world are known to contain the island arc crust in their sequence: the Hidaka Mountain Range and the Kohistan collision belt in northern Pakistan. The exposure of a crust cross section necessitates a

convergent plate boundary setting where large-scale crustal deformations take place. While a number of such locations exist, except at these two locations, the crust is only sporadically exposed or has structurally been offscraped and is absent. The Hidaka Mountain Range and the Kohistan collision belt feature miraculously preserved continuous crust cross sections.

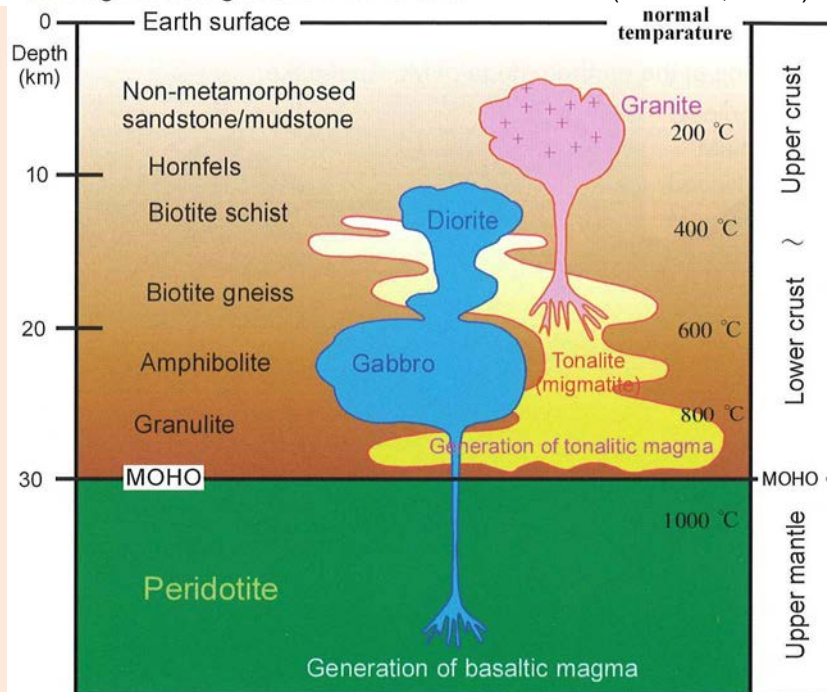
The scientific value of the Hidaka Mountain Range geology described above lies in that in addition to offering insight into the movement of terrestrial mass on a global scale, it allows direct sampling of materials for analysis and research, contributing significantly to the elucidation of the formation of island arcs. For example, a volcanic eruption is a surface phenomenon. While the erupted materials may provide us with information on the magma chamber located about 10 km below the surface of the Earth, there are numerous aspects of magmatic processes they cannot illuminate (e.g., how magma chambers become heated). The knowledge that can be gained from the surface is limited. Rock samples are needed to achieve a more precise understanding of the processes that take place below the Earth's surface. While rock samples are not easily obtained directly from the deep crust, they occur on the surface in the Hidaka Mountain Range.



(Ui *et al.*, 1999)



Geological profile of the Hidaka Range, showing a continuous lithological change from west to east. (Ui *et al.*, 1999)



Schematic profile, showing magmatic activities and metamorphism generated in the Hidaka lithosphere at the stage of maximum geotherm. (Ui *et al.*, 1999)

The rocks comprising the Hidaka island arc beneath the surface include metamorphic rocks and plutonic rocks. Within the metamorphic rocks, rocks having different metamorphic grades are formed according to the geothermal gradient. The metamorphic rocks formed at the deepest level in the Hidaka metamorphic belt are granulites; towards the surface, amphibolites, biotite gneiss, and hornfels have formed. Plutonic rocks are formed by magmatic activities below the surface and were formed by the genesis of two different types of magma having distinct origins—the deep crust and upper mantle peridotites. Different types of rocks form depending on the depth of magma genesis. Tonalites and granites are produced from the former, while gabbros and diorites are formed from the latter. The deep structures consisting of such metamorphic rocks and plutonic rocks are unique features of island arcs and can now be found exposed as a continuous cross-section with a W-E orientation in the Hidaka Mountain Range.

### **2-3. The Horoman Peridotite Complex (Peridotite from the Upper Mantle in the Lowermost Part of the Island Arc Lithosphere)**

The Mt. Aoi area features a large-scale outcrop of upper-mantle peridotites (Horoman Peridotite Complex). Free of metamorphic effects, the peridotites offer very well preserved mineral and chemical compositions of mantle origin. What is more, the outcrop covers a very large area measuring  $10 \times 8$  km. This represents the largest-scale peridotite in the world in terms of freshness and preservation of information on the deep lithospheric region.

Four types of peridotites present can be categorized by their origins, providing a variety of samples. The difference in origin means that the time and place of their formation differ. The peridotites consist of those produced at the mid-ocean ridge and those that are younger and produced at the island arc. Diversity increases their scientific value. From a petrologic perspective, these peridotites have compositions corresponding to the peridotites of the uppermost mantle.

The Hidaka Mountain Range is an unparalleled location for mantle peridotites, free of metamorphic effects and retaining information on the upper mantle, of diverse types, and exposed in a large-scale outcrop. Thus, the Horoman Peridotite Complex has been extensively studied in diverse research fields, making it academically significant (quantity and quality of research) and renowned internationally.

While peridotites are found in many regions of the world, they have experienced some degree of metamorphism in most cases, and their original compositions have been reset. In contrast, the Horoman peridotites are free of metamorphic effects and retain information on the deeper parts of the Earth's interior, which is of great scientific significance. The Horoman Peridotite Complex has a universal and significant value as rocks providing information from the upper mantle.



A spectacular view of the peridotite mountains at the northern ridge of Mt. Apoi-dake.

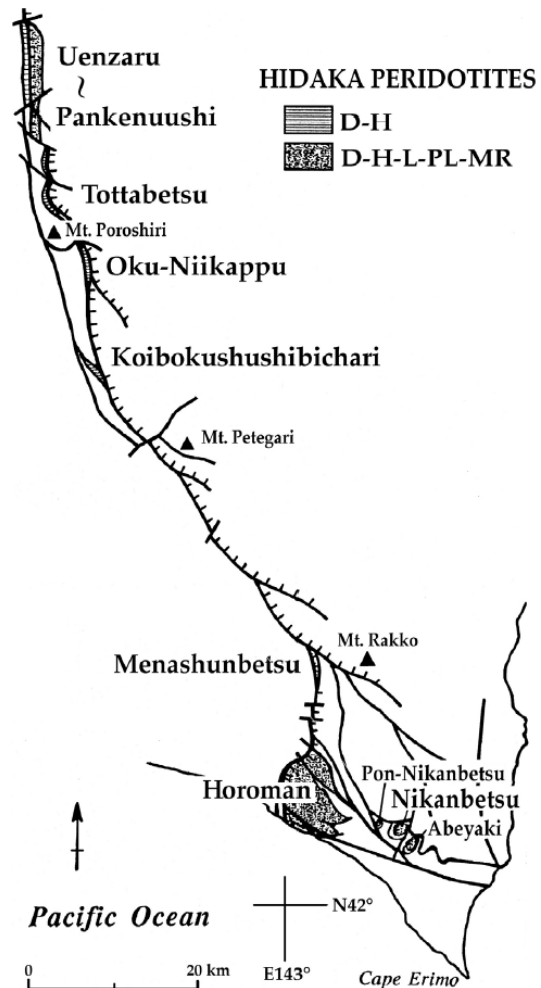


(Ui *et al.*, 1999)



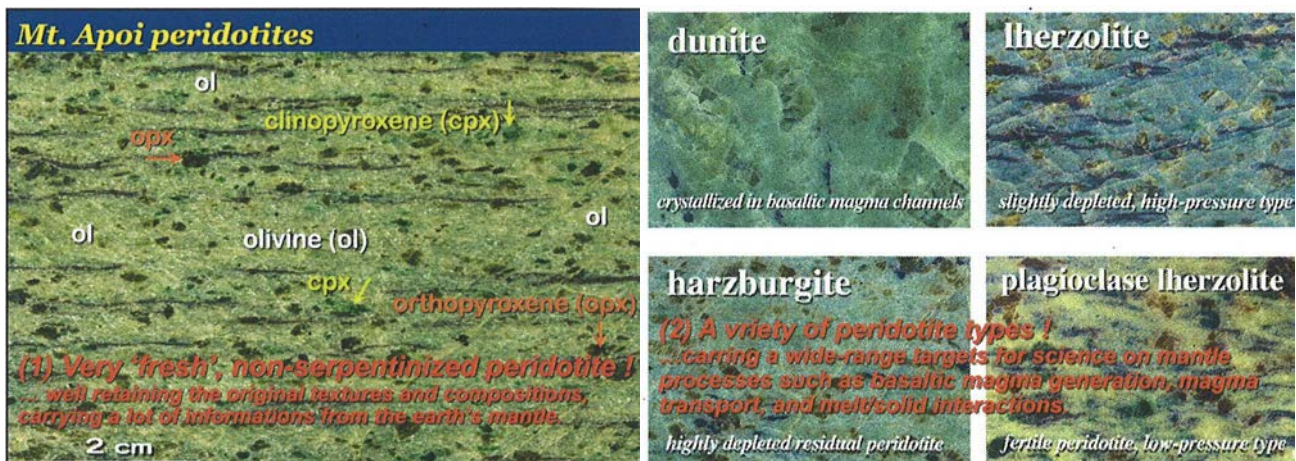
Well-layered peridotite exposed on the western ridge of Mt. Apoi-dake. Plagioclase lherzolite and dunite interlayered with gabbroic mafic rocks. (Peak in background is Mt. Apoi-dake.)

(Ui *et al.*, 1999)



Peridotite in the Hidaka Mountains. (Niida & Takazawa, 2007)

D: dunite, H: harzburgite, L: lherzolite, PL: plagioclase lherzolite, MR: mafic rock.



(Niida, 2014)

### 3. Comparative Cases

#### 3.1. A continuous cross section from the upper mantle to the shallow crust

The exposure of a crust cross section necessitates a convergent plate boundary environment, where large-scale crustal deformation takes place. While a number of such locations exist, in most cases, the crust is only sporadically exposed or has structurally been offscraped and is absent. The Ivrea Zone of the Swiss Alps is famous for exposed continental crust of an island arc, while the Macquarie Island of Australia (World Heritage Site) is known for its exposed oceanic crust. However, the Hidaka Mountain Range and the Kohistan collision belt in northern Pakistan are the only two places known where the island arc lithosphere is continuously exposed. The Kohistan collision belt is unique in that the volcanic rocks are preserved on the upper part; unfortunately, it is difficult to carry out field surveys in the region.

The Kohistan collision belt is a Cretaceous island arc where lithospheric rocks are exposed continuously, from serpentinite massifs, the Moho discontinuity, middle crust, basic tonalites, metamorphic rocks, igneous rocks, shallow marine sediments, and volcanic rocks. The advantage of the Kohistan collision belt over the Hidaka Mountain Range is the existence of the volcanic rocks on top.

The advantage of the Hidaka Mountain Range is the extent of the research carried out. The Kohistan collision belt is situated in mountainous regions and in conflict zones, making the area difficult to access. This has impeded field surveys for mapping the stratigraphic relationships of the layers, and a schematic stratigraphic column has yet to be produced. In contrast, detailed geological maps and stratigraphic columns are available for the Hidaka Mountain Range, and even the geothermal gradient in the island arc lithosphere has been reconstructed. Another strength of the Hidaka Mountain Range is that no serpentinization of the upper mantle peridotites has occurred, so that they retain unaltered information from the upper mantle.

### **3.2. Large-Scale Outcrop of Fresh and Diverse Types of Peridotites**

Macquarie Island is an example of a World Natural Heritage Site designated due to the exposure of cross sections of the upper mantle and crust on the surface of the Earth. Here, as in the case of the Hidaka Mountain Range, the upper mantle rocks are exposed. However, unlike the Hidaka Mountain Range, the layer above it is a cross section of the oceanic crust. Such combinations of mantle rocks and oceanic crust exposed on the surface of the Earth as observed in the Macquarie Island are commonly seen in the world, as in Oman and Troodos (Cyprus). What makes the Hidaka Mountain Range unique is that it is a sample of the island arc lithosphere, with a distinct composition and rock origin, representing a completely different geological phenomenon. The island arc is an environment where the active tectonic processes are taking place on the surface, including orogeny and volcanic activities, and is in the front line of continental growth. Offering a view of the cross section of the island arc lithosphere, the Hidaka Mountain Range has a unique value that distinguishes it from other regions where the oceanic crust is exposed.

## **4. Challenges**

The continuous cross section of the island arc lithosphere observed in the Hidaka Mountain Range has the potential to become a major window onto major stages of the Earth's history.



Nevertheless, of the 13 themes set forth by the IUCN in its theme study, very few sites have been chosen for the World Heritage Site for significance associated with plate tectonics and crustal formation. The guidelines for inscription remain vague. All this makes it difficult to predict with any certainty whether the Hidaka Mountain Range will be recognized as a heritage site.

The key feature of the Hidaka Mountain Range with respect to Macquarie Island, which has already been named a World Heritage Site, is the difference between the exposed oceanic crust for Macquarie and the island arc crust for Hidaka. The difference is geologically significant, but may be deemed to be of research interest only.

Consisting of materials from the upper mantle, the Horoman Peridotite Complex is a key sample of major stages in the Earth's history and represents a key tectonic record for studies of plate tectonics, plume tectonics, and magmatic activity, including terrestrial volcanic activities. Nevertheless, if the peridotites are regarded as just one type of rock, the Horoman Peridotite Complex may be judged to have value limited to specific fields of science.