

玉：ヒスイとネフライトー石材の科学分析を通してつながる世界と日本の考古学ー

飯塚 義之

(台湾：中央研究院地球科学研究所)

<自己紹介>

本日は、実際に皆さんにどうか、人様相手に、インターネットではなくておしゃべりをするのは、2020年2月以来ということになって。今回は、自分自身が非常に楽しい時間を過ごせるのではないかと考えています。

今日は、「玉（ぎょく）」というタイトルで、石の話をいたします。ところどころに、科学的な用語が入っていて、つまらない話になってしまうのではないかと思います。きれいな写真も交えますので、ぜひ楽しみながら聞いていただきたいと思います。

私は、実は岡山大学で学位を取りまして、そのあと日本に就職先がなくて、一度アメリカに出て、今は台北に住んでおります。現在、研究の拠点は、台北、台湾の台北市にありまして、そこに住まっております。こちら岡山に来ましたら、今月末にいよいよ岡山・台北の直行便が再開するという話を聞きまして、大変うれしいところです。

先ほどご紹介していただいたように、中央研究院という国の、国というのは台湾で国号は中華民国と申しまして、二つの中国のうちの一つ側なのですけれども、中央研究院という研究施設がございます。これは国家の研究所でして、もともとの辛亥革命で清朝を倒したときに、孫文らが新しい国家をつくって、そのときに国の研究機関としてつくられた研究所です。いい意味ですごく独特です。現在では30の研究所があるのですが、基軸になっていたのは考古学の研究所です。もともとは、殷墟（いんきょ）の甲骨文字の研究で始まったということです。殷墟は青銅器文明でも有名なところなのですが、その発掘の調査拠点の研究所として作られた、実はたいへん歴史的な研究施設です。当初は4つの研究所から構成されておりました。まず歴史言語研究所、これは「れきしごげん」と読みますが、甲骨文字の研究をする文字の研究所だった名残でしょう。それから数学と、昔は地質学と言っていたのですが、地質学の研究所と、物理学の研究所がありまして。その後、日本と中国、

それから中国、台湾と、いろいろ関係が複雑ですが、今現在は台北に所在しています。

創設当時の世界公用語はいまほど英語が強くありませんでしたので、中央研究院は Academia Sinica を横文字の正式名称としています。これはラテン語です。英語ではチャイニーズアカデミー (Chinese Academy) と訳せます。中国というのは、国立と言わず「院」と書いてあれば国のものという意味だそうで、例えば故宮博物院をご存じの方もいらっしゃると思いますが、こちらも国の施設です。

エンブレムを見ますと、真ん中に生命科学のDNAの螺旋があって、それから物理の電子の軌道、そして甲骨文字、生物系、物理系、それから文系、それらの研究所が融合しているという、ちょっと独特な構成の研究機関です。(中央研究院 URL <https://www.sinica.edu.tw/>) 残念ながら工学系の研究所はありません。こういう環境になりますと、先ほど所長の松本先生がご講演で「人間は環境に適応する」という話をしていらっしゃいましたが、私は、地球科学研究所というところにいるくせに、隣に歴史の研究所があるので一緒に研究を進めていくような環境が整ってまして、考古学に関わるような研究もしております。電子顕微鏡装置などを使いまして、岩石学的、石の研究です。そういうことをやっております。

もともと考古学と地質学というのは、非常に仲良しの学問です。文理融合と今では言いますが、昔から、考古学と地質学は、交流していました。なぜならば、例えば今、考古学で何年前の遺跡です、とか、先ほどは気象の話、地球環境変動の話がありましたけれども、そういった研究は全て「地球科学」的な分析によるものです。昔風に言うと、「地学」と言います。考古学者が発掘をして出土した骨、あるいは木片といったものを、地球科学の研究所に持ち込んで、放射性元素、同位体測定をして、何年前のものだと。あるいは、この動物が何の動物だとか、この人間はどこから、何を食べていたのだとか、そういった研究ができるようになっています。

僕は、その中でも専門が岩石ということで、岩石の、最初は、言葉はいろいろ難しいんですが「鑑定をしてください」と言われたんですね。その鑑定というのは、「お宝鑑定団」とあるように、価値を決めるようなもので、われわれが通常に言うのは「同定」と言います。「同じもの」と「定める」と書きます。どんな物質であるかというのを、きちんと定めるというような仕事を、お手伝いをしてくれないうことで、考古学の研究を始めました。

<石器、玉器について>

今日は出土した石器、昔の道具や装飾品です。これらを化学分析したら見えてきたこと、そういったお話をご紹介しますと思います。

最初に、石、岩石と鉱物の話をします。それから、今日の主体となる話である玉(ぎょく)、英語ではjade(ジェード)と言っていますけれども。特に、ヒスイとネフライト(nephrite)の話です。ネフライトというのは、耳なじみがない言葉かと思えますけれども、ぜひ覚えて帰っていたきたいと思えます。

それから、化学分析を通じてわかることを。「これは、何の石です」とわかるのは、誰でもできるのですが、そこから何がわかってくるかということを追加してご紹介したいと思えますので、ぜひ楽しんでください。

まずは石です。石は、人間は最初に道具として利用したものは石、岩石と言われています。岩石を分析するにあたって、あるいは追跡するにあたって、非常に有利な点が幾つかあります。一つは、石材は人為的につくることができない。人工ダイヤモンドが現代では作れますが、その昔はその辺にある石を拾ってきたものを使う。それを、道具として使っていたということです。

ガラスや金属というのは、石器時代が終わって文明が進んでいきますと、技術的な進化によって、人工的につくれるようになってくる。そうすると、素材を砕いたり、熱を加えたり、たたいたり、いろいろして、ガラスや金属器をつくり始めるわけです。今でも、もちろんそうです。現代の最先端は、セラミックスとかカーボンナノチューブとか、素材を使って加工してそれを利用していくというようになるんですけども、石の場合はそのままのものを使っていく。素材のままです。それから、岩石は自分で移動することはない。動物や人間などは、勝手に移動しますが、魚、あるいはいろいろなもの、チョウチョ、鳥、いろいろなものは移動して、そこで死んだら、そこに住まっていたわけでもないのに、そこに証拠が残ります。しかし石の場合、石器がつくられた場所から離れていたとするなら、そこには誰か運んだ人がいる。それから、3つ目は、ガラスや金属と違って、石は腐蝕することがほぼない。焼けても、だいたい形は残っていますし、たいていの場合は埋蔵して、出土品という形で現れます。地下で長い間、地下水にさらされたり、例えば火山が近くにあり温泉水にさらされたりする場合には、多少化学変化を起こして化学組成は変わっ

てしまうことはあるのですが、形はちゃんと残っていることの方が多く考えられています。

例えば、日本の場合はあまり人骨が発掘されません。それは土壌が人骨を保存できないような酸性の土壌で、時が経てばたつほど骨は残らないと言われています。その一方で石器は残っています。そういう点で、石器を通じた文化、文明というものをたどることができる、こういう利点があります。

ただし、石材あるいは岩石の種類をきちんと把握しようとしても、皆さんの中にも石好きの方がいらっしやと思えますが、石というのは、趣味に応じて、人々が自由に名前を付けたりするんです。地方の名前であるとか、例えば色や形に応じた名前とか、言葉は悪いですが、自由に勝手に名付けます。それは文学的な呼び名であったりします。あるいは雰囲気のととても素敵な上品な名前もあるでしょう。しかし科学的に共通の理解をしようとする、学術的な用語できちんと名前を付けておかないと、例えば地域が変わる、例えば言語が変わる、文明が変わる、歴史が変わったときに、ある一定の約束事で決めた言葉を使わないと、お互いの共通理解が得られません。そのあたりは岩石学の専門家が、きちんとしたルールに則って名前を付けてあげるということが大事になります。そういうことをやろうと、ある時期に思っ考古学の研究に関わるようになりました。

<「ヒスイ」とネフライト>

今日は「ヒスイ」とかネフライトとかの話をしていただきます。ヒトが装身具、装飾品に利用している石材は、一つの鉱物からできていて岩石になっている石材が多いのです。岩石というのは、まず定義を示しますと「鉱物の集合体」のことを岩石と言います。例えば、花崗岩。あるいは御影石とも呼ばれています。これは地方の名前で神戸の御影(みかげ)というところで採れる白い岩石、花崗岩のことを御影石とも呼びます。この花崗岩という岩石は、石英と長石と雲母という鉱物の集合体です。それが、石英だけでできていると、例えば水晶と言ったりします。水晶も実は俗称です。それと同じように、ヒスイというのは、実はヒスイ輝石という鉱物だけからできている岩石のことを言います。定義では90%以上がヒスイ輝石であればヒスイ輝石岩と称することができます。今日の話では、「ヒスイ」にカギ括弧を付けます。なぜかという、岩石学的には、これは正しくはヒスイ輝石岩と言わなければいけないのですが、

皆さんにとっては耳なじみがないと思いますので「ヒスイ」とカギ括弧を付けて表現します。

それから、ネフライトですが、これも岩石の名前です。これは、岩石学的鉱物学的な名前と言うと、透閃石という鉱物の固まりという名前で呼ばなければいけないのですが、特殊な場合においてネフライトと呼ぶことができるのでネフライトという名前を使います。ネフライトも「ヒスイ」も、2つとも、厳密には正しい学術用語ではありません。

漢字で書くと、ちょっと違った意味になって、限りなく玉に近付くような意味になります。日本語では、「ヒスイ」のことを「硬玉」、これは日本語です。中国語ではありません。なぜかと言うと、中国語では「輝石（鉱物）の玉」ということで「輝玉」と表現します。そしてネフライト。ご存じの方も多いと思いますが、「軟玉」と言ったりもします。しかし、これも適切な言葉ではありません、あとでご説明します。ネフライトは、角閃石という鉱物からできた岩石なので中国語では「閃玉」、きらめく玉と書きます。日本では、いわゆる「硬玉」、いわゆる「軟玉」と言います。同じ文字は、例えば、野球の硬式野球、軟式野球の硬軟です。硬式野球というとかたいボールを使っている。軟式野球は、硬球と比べるとやわらかい、ゴムでできたボールを使っていますので。日本人は感覚的に、全然硬さのまったく違うものという風に誤解しがちですが、実はそんなことはないのです。

東アジア、東南アジア、先史時代の玉器といわれるようなものほとんど全てはネフライトでできています。例えば日本ですが、今日は縄文時代を中心に話すのですが、縄文時代には「ヒスイ」が登場しています。ヒスイ輝石岩でできた「ヒスイ」製の装身具が非常に有名です。その一方で、日本では、ネフライト製の石器は存在しないというのが通説でした。

「ヒスイ」の例ですが、台北の故宮博物院にある、清朝時代のお宝の「ヒスイ」の白菜（翠玉白菜）をご存じでしょうか？今日の最後にお話するマヤ文明も「ヒスイ」文化を持っています。こちらではすごくきれいな緑色の「ヒスイ」が多く使われています。それから日本では、多くの遺跡から出土している大珠（たいしゅ）と呼ばれるような装身具は考えられている「ヒスイ」製のものです。

ざっと見ると、石材のいろは緑色のもの、若干緑がかっている、白いもの、といろいろです。「ヒスイ」の

緑色の部分は、ヒスイ輝石の仲間であるオンファス輝石（omphacite）とって、緑が濃い鉱物が中心となった「ヒスイ」です。みなさんのイメージとは違うかもしれませんが、化学的に純粋なヒスイ輝石は実は白いんです。いにしえより多くの方が、きれいな緑色だと珍重するようなヒスイというのは、実は化学的には純粋ではありません。実際に化学分析をすればわかります。「ヒスイ」を使った文明は、日本の縄文時代が世界で一番古いと考えられていて、それからメソアメリカ、中米、マヤ、それから中国です。中国の玉の文化は8000年ぐらい前からあると言われていているのですが、ネフライトの文化です。「ヒスイ」が登場するのは、中国清朝が南に拡大し、ミャンマー、昔はビルマと言っていましたけれども、そこに達するような版図を開いたときに、「ヒスイ」が文字通り地理的にも文化的にもお中国の中心部に入っていった、それから中国でも「ヒスイ」文明が発達したということがわかっています。

「ヒスイ」を使った文明というのは、日本以外にも先ほど紹介した、ミャンマー、中米のマヤ、この3つ以外でも、カリブ海のキューバに産地がありまして、そこで石器、石の斧を使った文化がある。それから地中海にも島が1つ、「ヒスイ」が採れる島（Siros島）がありまして、そこから石材が石斧を出荷していたことが知られています。これらは石の斧を使っていた文明です。それから近年は、パプアニューギニアでも採れるということがわかっています、一部、石斧が、石の斧が出てきたので、研究は進んでいませんが、ここにも「ヒスイ」の文化があったのではないと言われています。

話を戻しますと、ヒスイで装飾品を作っていたという日本と、マヤ、つまり中米・メソアメリカの先史時代の2つしかないというのが今のところの定説です。

一方で、地質学では「ヒスイ」は小指の先の大きさ程度でも、あるいは小さくてもヒスイ輝石を顕微鏡で見つけることができれば「ここでヒスイが産する」ということができます。そういったものを含めると、日本には、16カ所程度ヒスイ輝石が採れるところがあります。ただし、どんな石材でも、石器を作成していくとき、モノづくりの時には、原石を削り落としていくので、ある程度の大きさが必要です。実際に日本国内で、装身具製作に使われていたといわれる「ヒスイ」は、今のところ新潟県西部の糸魚川青海地域、そこから採れるものに限られていたということが言われています。この近所、岡山県でも、鳥取、岡山の

県境付近で3カ所程度「ヒスイ」の採れるところがあります。しかし実際に見ますと本当に数センチ規模ぐらいのもので、小さい、小玉などはつくれるとは思いますが、しかしこれらは利用されていた形跡（遺物）が今のところ見つかっていません。この辺で採れるヒスイは真っ白です。純粋なヒスイです。糸魚川で採れるのは、化学的には汚れている緑です。もちろん、白いものもありますけれども、白と緑の融合している、きれいな大きな岩石の固まりが採れるので、それを古くから利用していたということが言われています。

ネフライトの話に戻ります。しつこいですが、軟玉とは言わないようにしています。「ヒスイ」については、今述べたように世界でも、本当に限られたところでしか採取できないのですが、それに比べると、あくまで比較の上ですが、ネフライトは「ヒスイ」以上に採れます。ですが、これすべてが利用されていたかどうかとなると、それに答えるのも難しいことだと思います。

さて、ネフライトの産地は、世界中に何10カ所もあります。実は、ネフライトというのは、少し複雑な化学式を持っている鉱物の固まりです（透閃石～緑閃石の理想化学式 $\text{Ca}_2[\text{Mg,Fe}]_5\text{Si}_8\text{O}_{22}[\text{OH}]_2$ ）。「ヒスイ」と大きく違うのは、カルシウムがたくさん入っていることです。「ヒスイ」の説明のときに言い忘れましたが、「ヒスイ」にはナトリウムがたくさん含まれています（ヒスイ輝石の理想化学式 $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ ）。ナトリウムが入っているか、カルシウムが入っているかで、化学分析をすればどちらかというのが簡単にわかります。

それからネフライトには鉄 (Fe) とマグネシウム (Mg) という元素が多く入ってしまっていて、これを分析することで鉱物名を決めることができます。鉄がまったくない場合、このネフライト、透閃石という石が鉱物になりまして白い玉ができます。これが、中国文明で多く使われているような玉です。それから、鉄分が増えていきますと、緑色が強くなっていく、こういう特徴があります。

ネフライトは「ヒスイ」と同様に変成岩です。変成というのは地質学的な専門用語です。ネフライトにも白と緑があります。白いネフライトは、例えば石灰岩が変成してできた岩石です。石灰岩は、元々は珊瑚ですが、それが変成して石灰岩になります。今ではセメントの原料物質です。そういう真っ白な岩石が更に変成を被って、白い（透閃石の）ネフライトになります。それから、白とは別に緑色のネフライトというのは、蛇紋岩といわれている、黒っぽい

緑っぽい石で、もともと鉄分の多い岩石なんですけれども、それが変成して緑色のネフライトになります。ネフライトは大きく分けて白いものと緑色のものがありますが、もともとの原岩が違うのに、変成作用でできたネフライトは同じ名前になってしまいます。このあたり、われわれ岩石学者でも混乱します。

しかし、化学成分分析を行うことで、カルシウムがあるだけではなくて、鉄とマグネシウムの比をきちんと分析することで、学術的な約束事に則った名前を付けるとか、こういった地質帯から採取されて来たのだろうかというヒントをえることができます。もう一度いうと、緑色のネフライトは、蛇紋岩体という蛇紋岩の大きな岩体があって、実は日本にも幾つかあるのですけれども、そういうなかに産地が存在する可能性があるのです。

ところで、今、触れました、蛇紋岩という岩石について、少しお話をしておきましょう。蛇紋岩もモノによっては美しい緑色の岩石で、ネフライトの緑と、あるいはヒスイの緑と変わらないようなきれいな蛇紋岩も、実は天然には存在します。実際に、ニュージーランドに住むマオリ族という、現代に生きる人たちでも、蛇紋岩を使った装身具を大量につくっていて、今も身に着けていたりするんですね。ニュージーランドでもネフライトが採れますし、蛇紋岩も採れるので、使い分けをしているというようなことも、研究でわかっています。

蛇紋石の理想化学式は、 $(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ です。こちらにもまた見慣れない化学式でしょう。蛇紋岩を構成しているのは蛇紋石という鉱物なのですけれども、蛇紋石の化学式を見ますとここには「ヒスイ」に入っているナトリウムと、それからネフライトに入っているカルシウムがまったくなくないんです。ですので、化学分析さえすればこの3つがちゃんと、ちゃんとというのは、化学的にきちんと見分けることができるのです。

もちろんですが、これらには硬さに大きな違いがあります。鉱物の硬さの指標にモース硬度というのがあります。違う石と違う石がぶつかり合うとどちらが硬いかというのを決める硬さの指標なんですけれども、これは蛇紋石で2半、数字では2.5、2つ半です。ヒスイ輝石は6、ネフライトを構成している透閃石。緑閃石が5から6です。

先ほども使っていけないと思っています、と言ったんですが、ネフライトと「ヒスイ」は、それぞれ軟玉と硬玉と呼ばれています。しかし、モース硬度で言うとそんなに変わりはない。モース硬度では、実際は石英の方が7なので

硬いんです。石材の特徴を示す時に、何が違うかというのと、実は韌性（じんせい）係数といって、例えば落としたりするときとか、何かでたたいたときどれだけ壊れにくいとか、強靱であるかということを示す係数です。この韌性係数、例えば石英の場合は1です。落とせば、簡単にもろく割れてしまいます。蛇紋岩の場合は、さらに軟らかいので係数がわかりません。係数が必要ないほど、計測できないほどにもろい石です。ヒスイの場合は、これが100あります。あくまで係数なので、その数字がどうこうというのは、ちょっと説明をし出すと難しくなってしまいますが、数字が大きくなれば強靱、タフ、打撃に強いと考えて下さい。そこでネフライトの強靱係数はというと300。つまりネフライトの方が強靱であるということがいえます。この強靱なネフライトを利用して、実際に古代文明、先史時代では、ネフライトを大量に石の斧として活用していました。木を切ったり、丸太船を作っていたりしていたのではないかと考えられるということになります。

<台湾のネフライト>

台湾には、きれいな緑色のネフライトの産地があります。歴史的なことを言うと、台湾には日本が統治していた時代が50年間ありまして、戦後、第二次世界大戦後に日本が台湾を離れ、そこに中国の人たち、今の中華民国政府の人たちがやってきました。そこで、ネフライトの鉱床があるというのを再発見して、1970年代から1980年代というのは、ネフライトの一大輸出国になりました。緑色の石、ネフライトを大量に採っていました。

日本は、統治していたときその場所で何をしていたかという、ネフライトの脇で採れる石綿、アスベストという方が耳馴染みあるかも知れませんが、それを採掘して、日本に搬出、工業的に断熱材に使っていました。日本には玉（ぎょく）の文化がなく、玉には注意を払わずに放っていた。それを中国の方たちが産業にしたという、そういう歴史的なことがありました。

この採掘地は、今では、日本的に言うと特別天然記念物として保護されています。きれいな緑色の石が採れまして、2000年ぐらい前の遺跡から出土した装身具などにも使われています。そしてこれらはフィリピンやベトナムで出土した、大きさ3センチぐらいしかないのですけれども、耳飾りにも使われています。出土したときに、頭蓋骨の耳のところにあったから、耳飾りというふうに考えられている装身具が出土しています。

フィリピンやベトナムに行きますと、新石器時代の遺跡から緑色の耳飾りとか、ペンダントとかが出土しています。似たような色ですので、戦前に台北帝国大学、今の国立台湾大学にいた日本人の考古学の先生（鹿野忠雄 かのただお）が、東南アジアの文化的なつながりを論じています。それは、この色合いとか、つくり方とか、型式学的な議論をしていました。実際に、台湾の中に製作遺跡がありまして、面をくりぬいた、円盤状のディスク。これも、2センチとか、それからもう一つ小さくなって5ミリとか、そういうものがあって、おそらくはこのような、塊状（けつじょう）耳飾りと言いますけれども、石材をくりぬいた跡ではないかというようなことが言われています。

中国の殷墟。中央研究院に所蔵してある資料をみると白いネフライトで、中央の穴、つまりくりぬきの跡が共通しているというようなことが考えられています。はじめにも申しましたが、殷墟というのは、3500年ぐらい前の中国の遺跡で、甲骨文字が出たところです。世界遺産のひとつです。玉器の色合い、形がまるで違います。

台湾のネフライト鉱床というのは東の方にありまして、おおまかにいえば蛇紋岩が分布しています。実際に採取してきた地質学的なネフライトのサンプルと比べても、出土した石器と同じような色合いで、ところどころに黒い斑点が見える。これらは鉱物の一種で、こういう「黒いごま」のようなクロム鉄鉱を含んでいるという特徴があります。

<鉱物の化学分析>

それでは、実際に分析したらどうなのかということで、いろいろな岩石試料を集めました。広く世界的にネフライトと称される「岩石」を集めまして、化学分析をしています。色は、白いものから緑色のものまであります。そしてそれらを分析しますと、緑色のネフライトは、白いものに比べて鉄分が多いことがわかります。

鉄の含有量については、マグネシウム（Mg）と鉄（Fe）の量の比率で比べます。0.9という、先ほどご紹介をした数字をもし覚えておいてでしたら、この0.9から上へ、1の方へ行けば鉄分が少ないことを示していて、こういった数字を持っているのが白いネフライトでして、中国産のネフライトは、ほとんど鉄を含まない白いネフライトとわかります。こういう数値をつかって判別を行います。この数値の計算の方法は少しばかり難しいので、ここでは割愛させていただきますね。

台湾のネフライトは緑色のネフライトでして、ニュー

ジーランドとか、カナダとか、中国の一部でも採れまして化学分析の結果をだけをみるとほとんど同じです。判別がつきませんが、分析して何がわかるのかというと、少なくとも蛇紋岩に関連した地域から来ているネフライトであるということだけはわかります。そして、こっち（白い方）は蛇紋岩に関連していないことがわかります。言ってしまうえば簡単なのですが、実は見ただけではわからないというところもあります。さて、緑のネフライトがどこのもの？という課題はまだ残っていました。どうしても悔しかったので、黒い斑点は何だろうと、電子顕微鏡をつかって研究をしてみました。すると、これは先程も言いましたがクロムを含む黒い鉱物の一種で、クロム鉄鉱と呼ばれている鉱物でした。

この黒い斑点であるクロム鉄鉱中の鉄とクロム (Cr) の比を分析して比較してみました。同じ緑色のネフライトでも、分析によってクロム鉄鉱の化学組成が違うことがわかりました。台湾のもの、中国のもの、シベリアのもの、ニュージーランドのもの、カナダのもの比べると、細かいところまで分析さえすれば、産地ごとに違いがわかる、どこから来たものなのかがわかる、ということ突き止めることができました¹¹⁾。いよいよ電子顕微鏡を使って丁寧に分析さえすれば、台湾のネフライトは判別でき、追跡できるということがわかりました。それから、こうした分析によって、台湾のネフライト中のクロム鉄鉱には亜鉛という元素が入っているということもわかりました。これを鍵に、これこそが台湾で採れるネフライトの特徴だというのを決めて分析をしようとしたところ、ここでまたいろいろな障害が起きました。

基本的に、電子顕微鏡で分析をするときというのは、サンプルである岩石を砕いたり、切りだしたりしなければならぬのです。切り出した岩片の表面を磨いて試料として分析するんですね。ですが、遺物を借りるときに、「切っていていいですか」と言うのももちろん駄目だと言われます。あたりまえですよ。そう言ってる僕でもわかります。でもこのことは、私たち科学者、科学者と言うとちょっと大げさな言い方ですが、分析をしてみたいと思う人間にとってはすごい大きなハードルなんです。基本的に学生の頃から学んできたのは、分析前にはきれいに汚れを落としなさい、ちゃんと磨きなさい、そして観察しなさい。表面は汚れているから、そんなところは見ては駄目だ、風化しているかもしれないじゃないか、というのがわれわれ分析を行う者

が、大学、大学院を通じて学んできた基本で、そういう常識で生きてきたわけです。

しかし、考古学者の方にとっては、「切らないで、このまま返して」が、常識ですよ。もちろん理解できます。文化財の保全が是です。しかし分析するに当たっては困った障害です。いろいろとお互いの想いがあるのですけれども、常識の壁をなんとか覆したいなと思いました。というのは、同じような遺物が、実は南シナ海一带にあるというのが、いろいろな報告を集めていきますと、もちろんこれは共同研究者が集めたのですが、どうも似ているものがある。緑色だし、大きさも同じだし、文化的には同じだろうと、先人の報告にも書いてある。そういう共通の理解があってやり取りをしていたものかも知れないし、あるいはそれぞれ独自に作っていたかもしれない。でも、同じものが、数は多くはありませんがあちこちで見つかっています。物質が、モノが、石材が何であるかということがわかれば、もっと話がわかりやすくなるかも知れません。じゃあ、なんとかしなければ、分析技術の改良や開発の始まりはこんな好奇心だったんです。

結論からいえば、電子顕微鏡の中に、遺物を直接入れてしまえばいいと思いついて、フィリピンの国立博物館から、許可をもらって台北まで借りてきて、実は許可をもらうのに3年ぐらいかかったんですけれども、許可をもらうために、いろいろな基本的な情報をたくさん集めて、先ほどお見せしたような地質学的な情報を集めたり、研究資金を作ったり。ついに、マニラの博物館の学芸員さんに持ってきていただいて、旅費ももちろん用意して。一週間ばかりお借りして、分析をして。つまりはそのまま電子顕微鏡の中に入れて分析を行いました(図1 a, b¹²⁾)。それで、何がわかったかということ、まずはこれがネフライトの表面です(図1 c)。これはなんの手も加えていない、きれいにアルコールで表面を拭いただけの画像です。ネフライトの特徴というのは、こういう繊維状の組織です。木の樹脂のような繊維状の組織が見える。これが強さ、強靱さの理由です。この繊維の横方向についてはとても打撃に強く、切るのも大変です。分析用の岩石サンプルは、ダイヤモンドカッターで切断するのですが、1個5センチぐらいの大きさでもネフライトを切ると、2万円程度するようなダイヤモンドカッターが、一度でダメになるぐらい硬いんです。ですが、出土遺物の装身具の表面を実際に見ると、ピカピカに磨かれていました。現代の研磨装置を使って岩石試料

を磨きました、というレベルに比べても、抜群にきれいな磨き方がされていました。昔の人は、それだけきれいに磨いていたということがわかりました。こうして磨かれていたおかげで、表面状態は分析に最適、つまりはきれいなデータが取れるということがわかりました。

写真(図 1b)ですが、マニラのフィリピン国立博物館の収蔵資料です。台北の実験室の作業台に並べて写真撮りました。これから分析をしていこうというところですよ。そうこう研究をしている間に、いろいろな発掘の報告のデータを教えていただきました。出土品、作りかけの破片や工作した残りの断片もありました。それで、ざっと分析をした結果から、これはちょっと細かい図ですけども、縦軸が鉄とマグネシウムの比で、横軸が Si でシリコンの比です(図 2^[3])。このかたちで見ていただければいいんですけども、台湾、これが台湾の周辺部の諸島、それからフィリピンの北部、フィリピン南西部のパラワン(Palawan Island)という島、それから、こちらがボルネオ、ベトナム、タイから出土したネフライトの分析結果。ここの図の中に書いてある枠は全部同じもので、この枠は天然の台湾のネフライトの化学組成の範囲です。岩石はもちろん自然のものなので、天然のばらつきがありますが、これぐらいの幅にあるという目安になります。台湾の本島で出土した緑色の装身具、あるいは石斧、石の斧の化学組成が、全部同じ

ように示されています。それから、フィリピンでも同じようなところ。ただし、フィリピン、ルソン島の一部では白いネフライトの石斧がありまして、そこは大きく、図の中では上の方にズレます。白いネフライトは分析してもやはり、図の中でもきちんと判別ができます。

さらに東南アジアを追跡しますと、一部ベトナムであるとか、あるいはベトナムの北部ではネフライトでも違う化学組成のものがある、これはもちろん台湾産ではないというのがわかります。一つ、鍵になっている黒い斑点がありました。クロム鉄鉱です。分析対象の耳飾の表面にたまたま運良く黒い鉱物が見つけれればそれを分析しました。その亜鉛の量の分析からも、まず台湾で産出したネフライトと結論づけるに矛盾はないということがわかりました。

これは、科学的なデータですけども。もちろん、考古学者のみなさんと一緒に研究をしていますので、考古学者が発掘をしているものから、時代が一致するとか、形式やあるいは型式が同じ時代のものでそろっているとか。出土する土器とか、他にも人骨や、他の装身具、ガラスとか金属器も出てきますが、そういうものを照合して、多方面から照らし合わせて、同じ時代のものだと確認されたものしか分析していません。出土情報がないものは、分析しても学問的にはまったく議論の対象にならないと思いますの

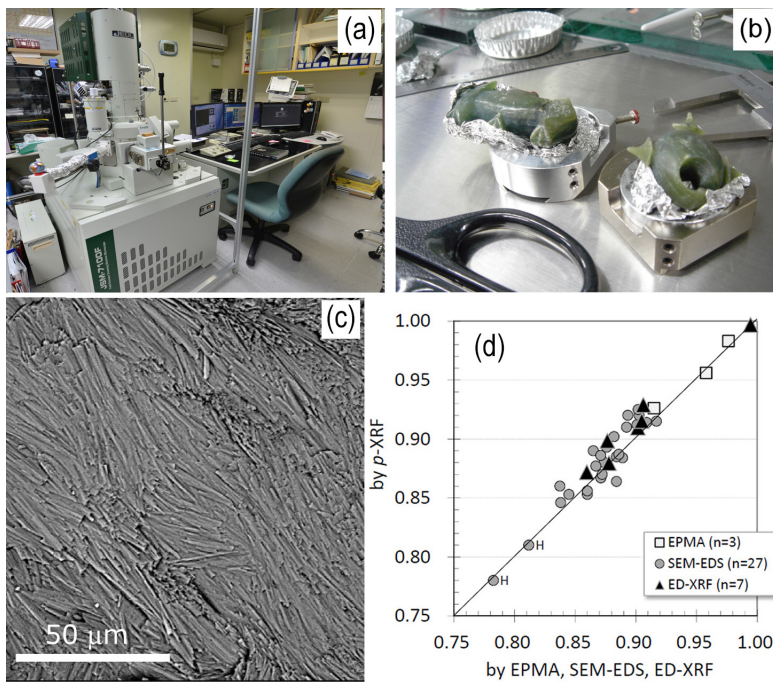


図 1 ネフライト製遺物の SEM-EDS 完全非破壊 (non-invasive) 分析の様子^[2]

で、そういうことを確認して調査を進めています。

もちろん、東南アジアのインドシナ半島は大陸の一部ですので、大陸部の方は地質学的にも多くの石材の産地や陸上交流で搬入されてきた石材があるでしょう。同じネフライト石材にも、白いものと、色がついているけれど緑色ではないものなど、多様性があるということが一連の調査からわかっています。

おおむね、台湾の中ではもちろんそうなのですが、フィリピンあるいはベトナムの一部にも、台湾のネフライトと同じものと考えておかしくない、矛盾しない化学組成の出土品があるということです。これらをまとめると、このような図に表すことができます。ある特定のネフライトの採れる山が、台湾の東部にありまして、そこからずっと島

伝いにものが移動して、あるいは南シナ海を越えてベトナムの中部、南部にも運ばれているというようなことがわかりました(図3^[3])。これは、いわゆる理化学的な手法だけではなくて、考古学や言語学との共同研究です。東南アジアには、主に大陸部に南アジア語族、オーストロアジア(Austroasian)と言われている大きな言語グループ、そして特に東南アジア島しょ部から、太平洋地域、東はイースター島、西はインド洋のマダガスカルまで、オーストロネシア(Austronesian)、南の島の語族というグループがありまして。その境界線がちょうどインドシナ半島に乗ってきます。緑色のネフライト、特に台湾ネフライトの分布は、オーストロネシアン側にあつて、境界を越えて分布をしていないので、同じ共通の価値観を持った人たち同士の間で

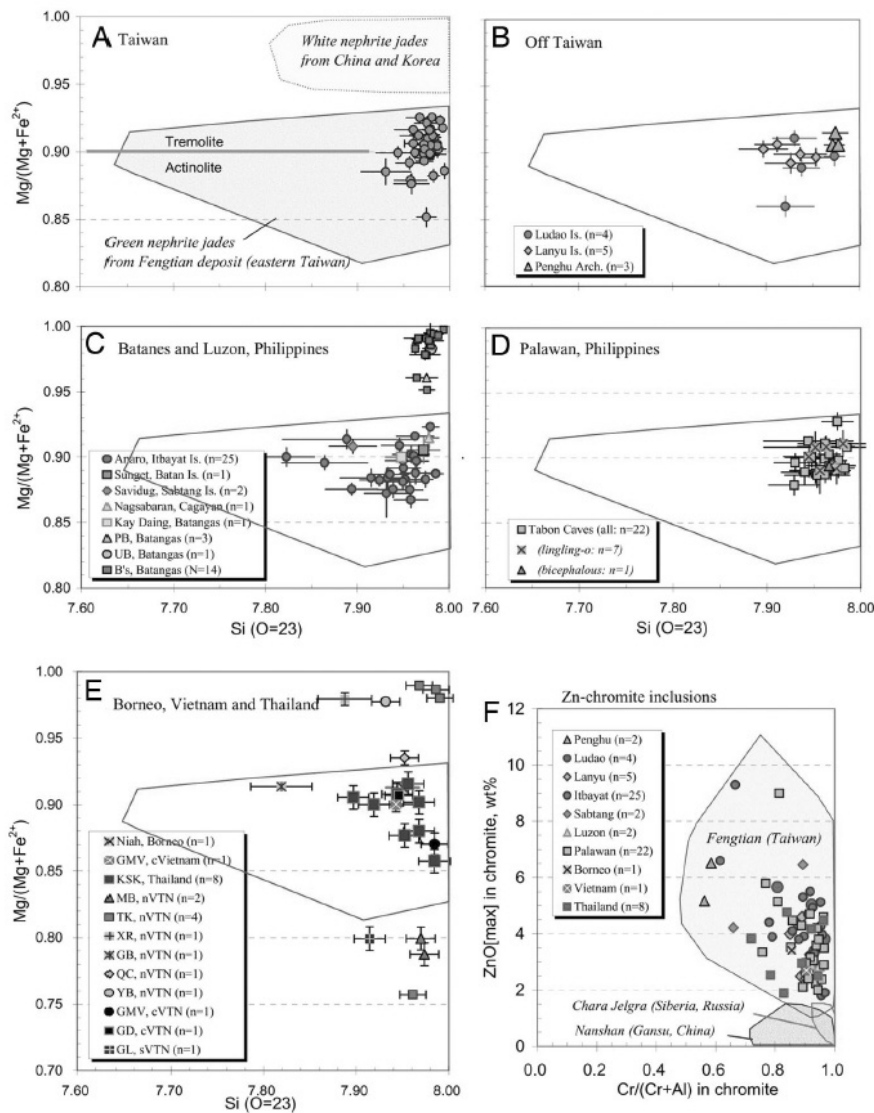


図2 東南アジアから出土したネフライト製遺物の化学組成 (SEM-EDS 分析による) ^[3]

台湾の石材が使われていたということがわかりました。

興味深いのはベトナムでして、オーストロアジアの側、つまりベトナムの北部とオーストロネシア側の南部とでは違いがみられます。現代でも文化の違いがありますが。新石器時代でも、北では白い石材を、南の方では緑の石材が存在するというように、違いがあるようです。

<可搬型の化学分析装置による石器の調査>

しかしながら、東南アジアで緑色の石材を使った装身具というのは、非常に数が限られています。現地の研究者も研究調査に積極的ですので、分析できる出土品を貸していただけたのですが、数には限りもあり、また時間にも限りがあります。違うところに向いて、こんな石も、あんな石もという、毎回毎回国境を越えて持って帰る、そしてまた返却に行くなどということはなかなかできるものではありませんし、そもそも貸してはいただけません。一方で、現在は時代的には進んで、飛行機に乗せて運ぶことができる分析装置が登場してきました。ポータブルの蛍光X線分析装置というのがあって、これを実際に現場に持ち込んで、現場というのは、発掘の現場であったり、例えば博物館の収蔵庫であったり、それから研究機関の資料庫

であったりということに入って化学分析をするということをして調査を進めています。

実際には、行って、さくっと分析すれば石材など簡単にわかるだろうと、皆さん思われるでしょう。しかし、装置に表示されるのは数字だけなので、記号や数字を読み取って、例えばどんな元素がどれほどあるから、どうのこうのと言いつつながら、調べていくわけです。ベトナムの例ですと、石英があったりとか、ネフライトでも緑であったり、白っぽかったりと、石材の多様性があるということが、現場での分析からわかるようになってきました。

またしつこいのですが、白いネフライトというのは鉄が含まれていません。実際に現場で測るポータブルの分析装置と実験室で比較的精度良く分析できるという装置を使って、ちゃんと同じものを測ったら、どれくらい確からしさがあるかというのを調べました(図1d)。多くの白いネフライト、緑のネフライトを分析しています。実際に分析すると、分析値に多少のズレがあります。天然のズレということもあるのですが、表面がゆがんでいたり、汚れが付いていたりするので、ポータブルでの測定は厳密には確かとは言えません。しかしその誤差を含めて、ある程度のブレ(あるいは測定誤差)を見越して討論すればよくて、少

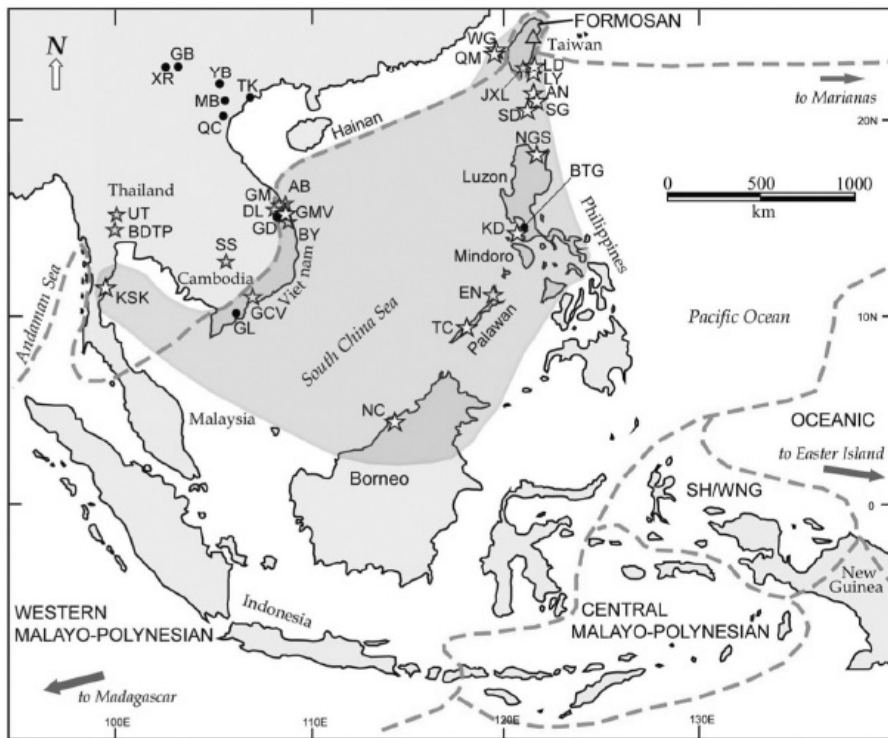


図3 先史時代、台湾ネフライトで製作された装身具の出土分布(☆印)^[3]

なくとも白いネフライトと緑のネフライト、つまりは鉄成分の差ですが、十分に区別できるくらいの精度はありますので、これを使って東南アジアの研究を進めていました。

実際に、北部のベトナム地方に行きますと、白いネフライトが多い。それから、緑色のものがちょっとある。このような傾向が数字的にわかります。比で示すと1 (=Mg/[Mg+Fe]) というのが、まったく鉄が入っていない白いネフライトでした。ベトナム南部に行くと、緑色のものが増えますので、分析した数値で比較することができるようになってきました。

そこでみえてきたものは、透閃石の白いネフライトと、鉄が入っているつまり緑色の緑閃石というネフライトでは、作られていた石器の形がまるで違っていたということでした。これは、ネフライトの石材の産地、あるいは製作遺跡に近いか、遠いかということとをさらに越えて、文化そのものが違うのではないかということがうかがえます。実際に、この珞状耳飾といわれる、切れ目、スリットが入った平らな形の耳飾りは中国文明のものに非常に似ています。そして一方でリンリンオーはフィリピンにもつながるものでした。こちらは、先ほどから言っていますように、オーストロネシアンといって、南の島の言語グループの人たちが共通の価値観を持っていたようなものが存在しています。ちょうど言語グループの境界線にあたるベトナムの中部にクアンナム省（広南省）があります。ホイアンとか、ダナンという街の名前を聞いたことがあるかも知れません。その辺りです。そこには、今お話した2つの種類の出土品があります。つまり、白色のネフライトの珞状耳飾と緑色のネフライトのリンリンオーです¹⁴⁾。ただし、この石材がどこのものであるか、どう持ち込まれてきたのか？などはわかっていません。これからの研究課題です。それに、コロナ禍で、しばらく調査が止まっていました。

<日本 縄文時代のネフライト>

総じていえば、こういったポータブルの装置でも十分興味深い研究ができることがわかりまして、それではまだまだわかっていない日本でも縄文時代の石材研究をやってみようかと。実際は、装置とそれを動かすパソコン、カメラや着替えとか、装備は一回の飛行機の旅で40キロ近い荷物になります。

日本にはネフライト製の石器は多く存在しないのかというのが日本での研究を始めたきっかけなんです。というの

は、ネフライトの産地というのは、1966年に地質学の中では報告がされていまして¹⁵⁾、長野県北部の白馬村に存在するということが知られていました。考古学では馴染みがなかったかも知れません。実は、「ヒスイ」にもそんな話がありまして、今でこそ皆さん、糸魚川青海という名前のご存知かと思いますが、戦前では、ヒスイはミャンマー、ビルマから運ばれてきたのではないかという仮説があったほどです。しかしその後の考古学者と地質学者の共同研究によって、今みなさんが共有している情報と知識が得られています。その糸魚川ですが、今では「ヒスイ」やフォッサマグナがテーマのジオパークにもなっています。

それから、岐阜県北部の飛騨地方で「飛騨ヒスイ」と呼ばれている石材があります。それが、「ヒスイ」であるか、ネフライトであるかというのは、誰も分析して確認してなかったようなのですが、分析によってネフライトだということがわかっています¹⁶⁾。この、いわゆる飛騨ヒスイは山の中に採集に行きました。今はもうダムの下に沈んでいます。

「ヒスイ海岸」という地名はご存知でしょうか？富山県と新潟県の県境近くにあるんですけど、そこは丸石の海岸なんですけど、「ヒスイ」も転がっているし、ネフライトも転がっています。「ヒスイ」だけでなくネフライトがあるということ、もちろん鉱物マニアの人たちは知っています。青海の山の中に実際に行っても地域全体が天然記念物指定ですので、許可がないと入れないのですが、ヒスイ海岸では、運が良ければヒスイを拾うことができます。それから、長野県白馬村の八方尾根、スキーリゾートがあります。冬場は非常に雪が深いところです。採集できたネフライトの化学分析を行ってデータベースを作ってみました。

一方で、富山県の知り合いを通して、蛇紋岩製といわれていた石の斧を分析してみました。化学分析の結果、蛇紋岩とされていた石材が実はネフライトだったということがわかりました。蛇紋岩ももちろんありましたが、むしろ稀な存在でした。「ヒスイ」ももちろんあります。それから、滑石と言われる軟らかい石も使われていました。全部で、このときは富山市の施設（富山市埋蔵文化財センター）で200余りの分析をしたのですが、40%ぐらいがネフライトで、それまで50%ぐらい蛇紋岩と言われていたような石材の大多数がネフライトだということがわかりました。なんだ、ちゃんとネフライトがあったんだという感じの印象を持ちました。

これを、それまでの報告書と照らし合わせてみると、ほ

とんど蛇紋岩と書いてあります。どこへ行っても蛇紋岩と書いてあるので、考古学者のみなさんがいかに先輩からの知識を学び、きちんと蛇紋岩と記載していたかということがわかりました。それでは、隣の県に行こう、隣の市に行こうとなったときには、報告書を見せてもらって、蛇紋岩と書いてあるのでこれを分析させてくださいと言うと、ほとんどネフライトでした。

富山市の縄文時代前期の小竹貝塚は、北陸新幹線の工事のときに発掘されました。ここからは人骨がたくさん出ています。それから、縄文遺跡中期の北代、これも同じ富山市の遺跡です。ここからは緑色、あるいは茶色のネフライトの石斧が出てきます。幾つか、台北に借りることができて、電子顕微鏡で繊維状の組織も観察できました。それから、もちろん化学分析をしてネフライトだということを確認できました。石斧の分析結果とさきほどお話をした天然のネフライトと照らし合わせてみたら、化学組成で白馬産のものと同じということがわかりました。ですので、白馬やその下流の海岸で採れるネフライトが富山で使われていたということがわかりました。

もう一つ、「飛驒ヒスイ」と呼ばれていたネフライトがあったのですが、分析では石器石材とは一致しませんでした。この「飛驒ヒスイ」というのは、神通川の上流に産地があるのですが、富山平野では石材としては使われていなかったのでは、と考えています。

ネフライト、あるいは「ヒスイ」というのは、なぜこういうふうな追跡できるかというと、産地が非常に限られているからです。例えば日本の弥生時代ですが、弥生時代になると水晶とか、碧玉とか、メノウとか、オパールとかを大量に装身具に使うようになります。日本国中にたくさんの産地があります。そして、化学組成はほとんど同じなので、化学組成がほとんど同じということは、非破壊、非破壊というのはポータブルで測るような分析、壊さずに測るというような分析ですけれども、それだと到底区分できないわけです。石材を破壊して同位体を測るとか、微量成分を測るといことになれば判別可能なものもあるでしょう。たいていそのようなことはできないので、その点、「ヒスイ」やネフライトの研究というのは、比較的優位に進めることができるということです。近年、水晶の非破壊産地分析で素晴らしい研究もありますので、そういったこともどうか参考にしてください¹⁷⁾。

さて、話を戻します。ネフライトの産地が、白馬から糸魚川地域にあるということがわかりました。もちろん、ほ

ぼ「ヒスイ」の産地と同じです。ここ（岡山市）から一番の近隣ですと、里木貝塚というのが倉敷にあります。そこには少なくとも1つ、ネフライト製の石斧がありました。1個しかなかったのですが。でも、東北地方、東日本は、とても大量に出てきます。特に、東日本大震災のあとに、復興事業でたくさん発掘があったんですが、出土品がたくさんあって、そういう検証ができるという機会が得られています。コロナ禍の影響で中断していましたが、ちょうど、この（2023年）1月から調査を再開をしたところですよ。

「ヒスイ」のお話をします。「ヒスイ」というのは、ナトリウムが大量に入っている「ヒスイ輝石」が集まってできた岩石なんですけれども、実は、ポータブルXRFでは、大気中で分析をするので、ナトリウムが検出できないんです。大気中で測るとナトリウムから出てくるX線が減衰してしまって、測れなくなってしまうんですね。一方で、現場では、なんとかナトリウムが測れなくても石材を同定できるようにということで、シリコンとアルミの量で見ようとしています。ポータブル装置で測った場合と実験室の分析装置で測った場合とで、シリコン、SiとAl、ケイ素とアルミニウムの量の比を取ってあげるとほとんど一致する。このように分析を進めています。

またネフライトのお話に戻しましょう。これも縄文時代前期の遺跡の話になりますが、ごくごく数が少ないのですけれども、白いネフライトでつくられている装身具があるということがわかりました。実は、考古学の人たちの間でもすでに21世紀初頭には知られていた存在です。10年ぐらい前ですが、福井県の芦原温泉があるあわら市に桑野遺跡というのがあって、玦状耳飾という、白い石でできた装身具が大量に出土しています。79点、これを一通り分析させてもらいました。コロナ禍直前の2020年の2月です。この調査で白いネフライト、鉄がまったく入っていない白いネフライト、それから滑石やその他の石材で制作されているというのがわかっています。同じ石材は、つまり白いネフライトは桑野遺跡の他に、栃木県の宇都宮、それから群馬県の下仁田町下鎌田遺跡¹⁸⁾、福井県の鳥浜貝塚遺跡¹⁹⁾、縄文前期の遺跡4カ所からも確認しています。縄文時代前期の日本に約30点の、鉄がまったく入っていないネフライトの石製品が存在しています。

実は、この白いネフライト、化学組成で見ると日本に産地が日見当たりません。

どこに産地があるのでしょうか？実は台北市にある中央研究院の殷墟の出土品の白いネフライト、発掘によって得ら

れた出土品ですが、それを分析すると鉄がまったく入っていない白いネフライトなんですね。白馬-糸魚川のものとも違う、日本の石製品の中では本当に珍しい存在です。そこで石材産地のことを考えると、どうも白いネフライトは大陸から来ているのではないかと、というふうに考えるのが妥当なのかなと考えています。実際には、考古学者の人たちの議論では、同じ形のもの、同じような製作の痕跡が残っている耳飾がどこにあるかを、調査していきまして、同じ縄文時代前期と対応するような時代、化学組成も同じ、色や形も同じだということな照合ができれば、さらに議論が深まると考えています。

東北日本の話に戻りますと、緑の石、滑石と呼ばれる軟らかい石から、ネフライト、「ヒスイ」、これは加工の技術ということになると、滑石、ネフライト、「ヒスイ」というように進化していきます。滑石は簡単に加工できて、よく博物館で、勾玉をつくりましょうというとき、滑石で作っています。カッターでも削れるぐらいですね。その点ネフライトは、全然切れません。新石器時代あるいは縄文時代には、すり切り技法というのがありまして、何かしらの技術があれば切断できます。「ヒスイ」に関しては、ほぼ原石のものを磨いて整形しているのではないかと思います。穿孔、穴を開ける技術がありました。

通説で、日本ではネフライトはさほど活用されていないのではないかと思われていたんですけど、そういったまことしやかな通説を化学分析することによって再考すべき、と提言ができるようになりました。石材の登場時間というもの、まず滑石が先に、次にネフライトが利用され始めて、そのあとで「ヒスイ」が登場してくることが、少なくとも東北地方では見えてきました。こういった検証もこの先の研究課題ということになります。

<マヤ文明の「ヒスイ」>

最後に、また「ヒスイ」のお話をします。この会場にはせっかくマヤ文明の展示がありますので、マヤの緑の石のお話もしましょう。実はマヤでも緑の石、スペイン語で「緑の石」、あるいは「jade」と報告されていますが本当に「ヒスイ」だけなのかな?というのが、そもそもの始まりでした。分析の結果はこちらも同じで、多様な石材がありました。

グアテマラという中米の国に「ヒスイ」の産地がありまして、非常に良質の「ヒスイ」が採取できます。メソアメリカ各所に運ばれています。グアテマラには大変よく研究が進んでいる遺跡群がありまして、そういうところで出土

したものを分析させてもらう機会をいただきました。マヤの場合は、ネフライト石器は確認されていません。マヤ文明で緑というのは、高貴な神聖な色だということにされていると、言われていまして、そういう石材を使った石製品が大量に存在します。

コロナ禍前のことですが、まず取りあえずやってみようという機材を運んでグアテマラに参りました。そして「ヒスイ」と言われているもの全部が「ヒスイ」であるわけではないということがわかりました。例えば、太平洋側に行くと石製品石材の半分ぐらい「ヒスイ」でした。それから山岳部で、火山があるような山岳部なのですが、そこでは他の石材もあって比率で見ると「ヒスイ」はさほど多くない。あるいは、グアテマラシティーというところに大きな遺跡がありまして、ここではいろいろな石が集まるのか、その周辺にも大量の石材が採れる産地もありますので、割合が減ってくる。こういういったように様相が違ってくるということもわかってきたので、この先も研究を続けていきたいと思っています¹⁰⁾。「ヒスイ」そのものももちろん面白い研究対象ですが、実は「ヒスイ」以外の緑の石も使っているということがわかりました。では、いったどんな石材が使われていて、その石材はどこから来たのかというのはとても興味深いテーマです。隣の文明と関係があるのか。メキシコは、オルメカとかアステカとかがありますけれども、そういう文明との交流とか、あるいは人や文明の移動に関係しているのか、新しい課題として挙がっているところです。

化学分析の手法を使って岩石としての石材を確認、同定するということは、地域間の物質的な交流、もちろん人間が動かすものですから、流動の研究の中では大変面白い研究のテーマと思っています。もちろん、僕はただ石材の分析をしているだけなので、パートナーとして、考古学、歴史、あるいは植物や動物の研究者と一緒に仕事をしていく楽しさも伴います。

リサーチマップというところに、いろいろな研究者のデータがあって、研究報告が公開されていますので、もしよかったらこういうサイトを探っていくと、いろいろ東北のものとか、マヤとか、いろいろなものがある。ここに、日本語の論文がいくつかあるので、もし参考になればと思います (researchmap URL <https://researchmap.jp/yiizukaies>)。

今日はこういった機会に、研究者ではないみなさんに最近の研究成果をご紹介することができて何よりも嬉しく

思っています。どうも、ありがとうございました。

(2023年3月19日 RIDC第1回特別展「津島から世界へ、
世界から津島へ」第一回講座 於：岡山シティミュージアム)

参考文献

- [1] Iizuka Y, HC Hung (2005) Archaeomineralogy of Taiwan Nephrite: Sourcing Study of Nephritic Artifacts from the Philippines. *Journal of Austronesian Studies* 1 (1): 33-79.
- [2] 飯塚義之 (2022) 「石材・玉器」(渋谷綾子・横田あゆみ編)『科学分析はじめてガイドーサンプリングから解釈まで』(科学研究費助成事業学術変革領域研究 (A)「中国文明起源解明の新・考古学イニシアティブ」計画研究 A02「考古遺物の材料分析と産地推定」), pp.31.
- [3] Hung HC, Y Iizuka, P Bellwood, KD Nguyen, B Bellina, P Silapanth, E Dizon, R Santiago, I Datan, J Manton (2007) Ancient jades map 3000 years of prehistoric exchange in Southeast Asia. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)*, 104(50):19745-19750.
- [4] 飯塚義之 (2021)「考古フォーカス：東南アジア先史時代のネフライト製石器の研究」『考古学研究』261(68-1):107-109, (巻頭口絵2頁)
- [5] 吉村豊文・林正雄・芳西修 (1966) 長野県白馬村産プレーナイトおよびネフライト(軟玉) 鉱物学雑誌 8: 84-93
- [6] 飯塚義之・古川知明・中村由克 (2016) 富山城石垣土塁から出土したネフライト玉石の来源、大境(富山県考古学会会誌)第35号, 67-72.
- [7] 一之瀬敬一・金井拓人 (2021)「古墳時代前期における山梨県産水晶の利用」『山梨県埋蔵文化財センター研究紀要』37:1-10
- [8] 中村由克・飯塚義之 (2020)「下鎌田遺跡の玦状耳飾の蛍光X線分析とその再評価」『下仁田町自然史館研究報告』5: 19-26.
<https://www.shimonita-geopark.jp/shizenshikan/200502kenkyu/houkoku5.html>
- [9] 飯塚義之・鯉本真友美 (2023)「非破壊化学分析による鳥浜貝塚出土の縄文石器石材研究：二種類のネフライト製石器の再発見」『鳥浜貝塚研究』7:23-35
- [10] 飯塚義之・鈴木真太郎、バリエントス・トマス (2020)「完全非破壊化学分析法による古代マヤ文明の磨製石器石材分析」『古代アメリカ』23:29-50