

大陸棚申請の概要 -科学が果たした希有な役割-

産業技術総合研究所 地質情報研究部門

岸本清行

海洋政策研究財団講演会：2010-01-28

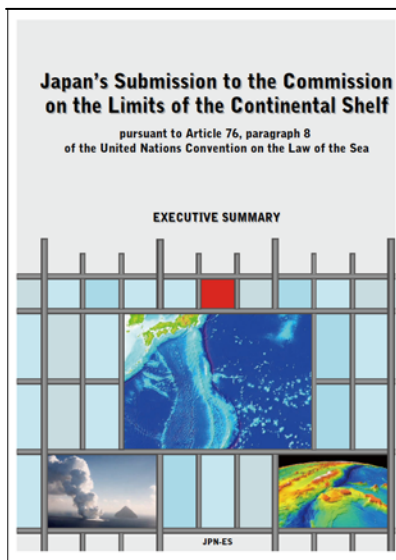
〈日本の申請の概要〉

大陸棚申請のプロセスは、大陸棚限界委員会（以下、CLCS）に事前に提出した3つの資料群を用いた審査と、申請国に適宜与えられる口頭説明の機会を通じて補完することで進行します。

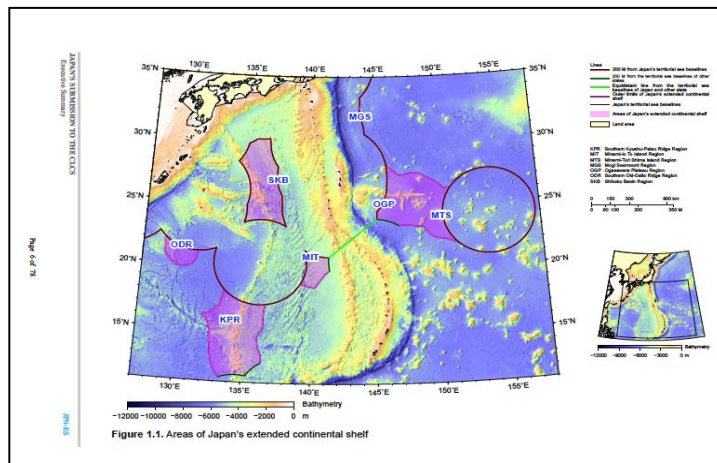
日本が CLCS に提出した申請文書は以下の3種類であり、それぞれ科学技術文書としての性格を有しています。

(1) Executive Summary

まず、Executive Summary ですが、これは全 80 ページ (A4 版) から成り、国連サイトで公開されています。



日本の Executive Summary の表紙
(以下の CLCS サイトに掲載)



延長申請した7つの海域：(点列を直線で結ぶ範囲)

四国海盆海域 (SKB)、九州-パラオ海嶺南部海域 (KPR)、南硫黄島海域 (MIT)、南鳥島海域 (MTS)、茂木海山海域 (MGS)、小笠原海台海域 (OGP)、沖大東海嶺海域 (ODR)

http://www.un.org/Depts/los/clcs_new/submissions_files/submission_jpn.htm

うち、15 ページ (p.9-p.23) は延長大陸棚 (Extended Continental Shelf: 以下、ECS) の海域マップと図説明 (7海域) で、51 ページ (p.27-p.77) は ECS 点座標の表 (2,552 点) です。

ECSの範囲は、領海や200海里EEZのように領土の基線からの円弧群に対する包絡線(曲線)ではなくて、点列を直線で結んだ多角形の範囲です。つまり、大陸棚の外縁線の面積を最大にするには曲線になるわけですが、条約ではECSは固定点の座標データで示せということになっており、座標の表を付ける必要があります。緯度と経度の座標を表した表と図面があるだけで、それがExecutive Summaryのメインです。ですから、これ自身は「読み物」としてはほとんど意味がなく、こういう点を日本は大陸棚の延長線として申請します、登録しますという内容です。したがって、技術的な表と言えます。技術的観点から言うと、ECS点は、できるだけ小さい1m以内の誤差で与えるために2,552点を申請しており、小数点下8桁まで付いています。距離にすると1mmの精度で出しているということになります。

あとの2つの資料群は非公開となっています。CLCSの委員もその内容について部外者に対する守秘義務を負っています。(ですので、本講演でも、具体的内容については、現在審査中ですので、詳しくは述べません。)

正式な資料は印刷物であるとなっていますが、審査手続きの効率化のため現在では電子化されたデータの提出も同時に行われています。

(2) Main Body

補足説明資料群としてのMain Bodyは、条約第76条の解釈を正当化するための科学技術文書と言えます。個々の海域毎に同様な構成で作成された、データの正当性を説明するための科学技術文書の体裁をしています。

上述のExecutive Summaryの図表の各点に関する根拠となる技術的・科学的説明を行っています。

(3) Supporting Data

Supporting Dataと呼ばれる資料群は、上述のMain Bodyを作成するために用いたデータと科学論文などからなっています。具体的には、地形データ、地球物理データ、地質学データと試料、科学的解釈(を含む論文)です。すなわち、生のデータであって、これが一番、地球科学情報の観点から見ると宝の山とことができ、今後、サイエンス・コミュニティの中で論文発表されたり、資源探査をする時の出発点となるデータとして使われることになると思います。

以上3種類の資料を提出した後、CLCSからの勧告が出るまでに、口頭説明や手紙でのやりとり(CLCSからの質問とそれへの返答)を行う機会があります。これまで口頭説明を2回、昨年(2009年)の3月と9月にそれぞれ、半日間の長時間にわたるプレゼンテーションが行われています。

各国の今までの申請の例を見てみますと、オーストラリアやニュージーランドは、申請が出るまでに最大で二十数回、プレゼンテーションをする機会を与えられています。日本はまだ2回しかしていませんけれども、今後、審査が進むにつれて、提出した資料に更にプラスアルファして対応することもある

でしょう。

国連海洋法条約の第76条及びそれを補足説明するためのガイドラインには、延長大陸棚の申請に関しては、科学的根拠を含む延長大陸棚の限界に関する情報を提出しなさいということが書かれており、要するに、「科学的根拠を含む」という記載があるだけなのです。延長大陸棚申請というのは、各国の陣取りというか、国土を延長するというので、今までは戦争や政治的な話し合いなどの下、力で拡張してきたという経緯が歴史的にはありますが、歴史的に初めて客観的な事実、科学的根拠を示せば拡張を主張することができ、それを提出するために科学的データの収集・解析・解釈が必要で、そのメインの役割を科学者が担えたという意味で非常に「希有な科学的役割」であったと言えます。

以下では、どのような意味において「希有」であったと言えるか、について詳述したいと思います。

<科学が果たした希有な役割という意味>

「科学」という *expertise* が職業(社会的に役立つ活動)としても重要な資質として認知されるようになったのはいつ頃からでしょうか。この人(物)には「技術」がある(必要)といえ、もう一も二もなく意味は了解される(と思われる)のと対照的なことです。しかも、「科学技術(科学・技術)」という用語は現代社会の『枕詞』になっていますが、深く意味や定義を考えれば悩ましい限りです。閑話休題。

「大陸棚申請」という極めて国益に直結した、時代が時代ならば極めて剣呑な政治的課題であると考えられる「領土の帰属問題」が、「科学的根拠に基づく審査(審議)事項」として扱われる時代になったのだというのが私のいう意味です。この「科学に求められている役割・状況」を英語で表現すれば、“challenge”という言葉が使われていますが、その和訳のひとつである「挑戦」という意味とは随分異なっていると感じます。ネットで、challengeの語源を調べてみると

(<http://www.etymonline.com/index.php?term=challenge>) ;

1292, from O.Fr. *chalenge* "accusation, claim, dispute," from L. *calumniā* "trickery" (see *calumny*). Accusatory connotations died out 17c. Meaning "a calling to fight" is from 1530. *Challenged* as a euphemism for "disabled" dates from 1985. というのが見つかります。

ここでいう申し立て (*claim*) とか、論議 (*dispute*) を科学的に行うという意味が日本語としてもっともよく合っていると思います。「挑戦」という言葉は英語の“challenge”が持っている守備範囲とほんの一部しか重なっていないようです。

<次のパラダイムは何か>

大陸棚調査などに代表される国主導のプロジェクトだけではなく、近年の地球環境問題に関連する課題においては、陸域、海域を問わず、観測・シミュレーションともにグローバルな理解の為には、ローカルなスケールにおいても分解能を落とさずにかつグローバルなスケールに接続することが必要である(それでも不十分)という認識が一般化しています。複雑系の研究戦略としては、「広く薄く(グローバル)」を押さえて「狭く深く(ローカル)」を攻める、という手法は原理的にうまくいかないからです。しかし、それでは次のパラダイムは何であるのか、私にはわかりません。原理的には決断できなくても、現場ではチャレンジされるのが社会の常であるのかもしれない。

<地形情報>

日本の大陸棚申請は、審査がまだ緒についたばかりであり、申請に用いられたデータの利用法などに関する具体的解説はここではできません。しかし、我国の申請に用いられた地形データは地球科学にとってもっとも基礎的な情報であり、大陸棚申請のために、海洋情報部等によって 25 年以上にわたり蓄積、更新されてきた大きな成果です。しかも広大な面積と高コストである海域での調査においては、同じ場所での再計測が一般に難しいというハンディがあるため、海洋調査データは、広く共有すべき（されてきた）貴重な情報・資源です。1980 年代初めころ我国でも導入が始まったスワス測深（マルチビーム測深ともいう）技術はそれまでの海底地形調査の精度と効率を飛躍的に進歩させました。現在もなおスワス測深技術の多機能化・高機能化が行われており、精密な海底地形データの蓄積を加速させています。

我国の申請で用いられた地形データを使ったポスターが採択された「世界海洋の日」（毎年 6 月 8 日）に合わせて国連でも展示されました。同じ画像が以下のリンクでも見られます。

http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/WOD/index_2009.html

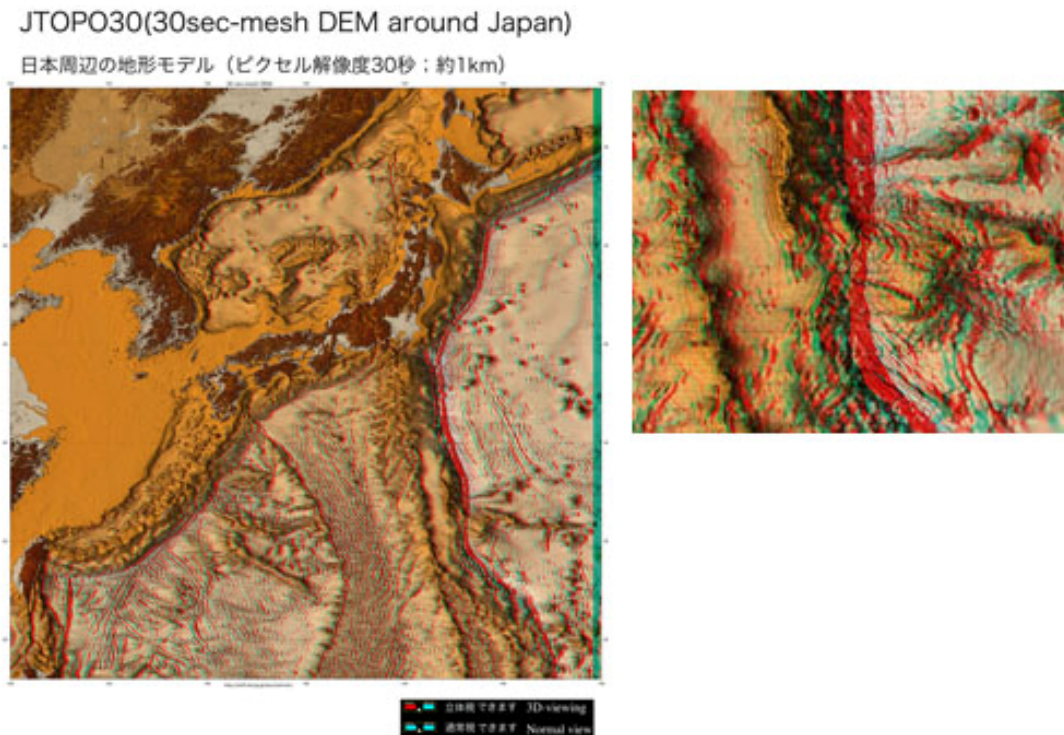


図1 日本周辺の海底地形のデジタル版基礎データとして使われてきた JTOPO30 は、2009年2月からは Google Earth でも利用されるようになった。

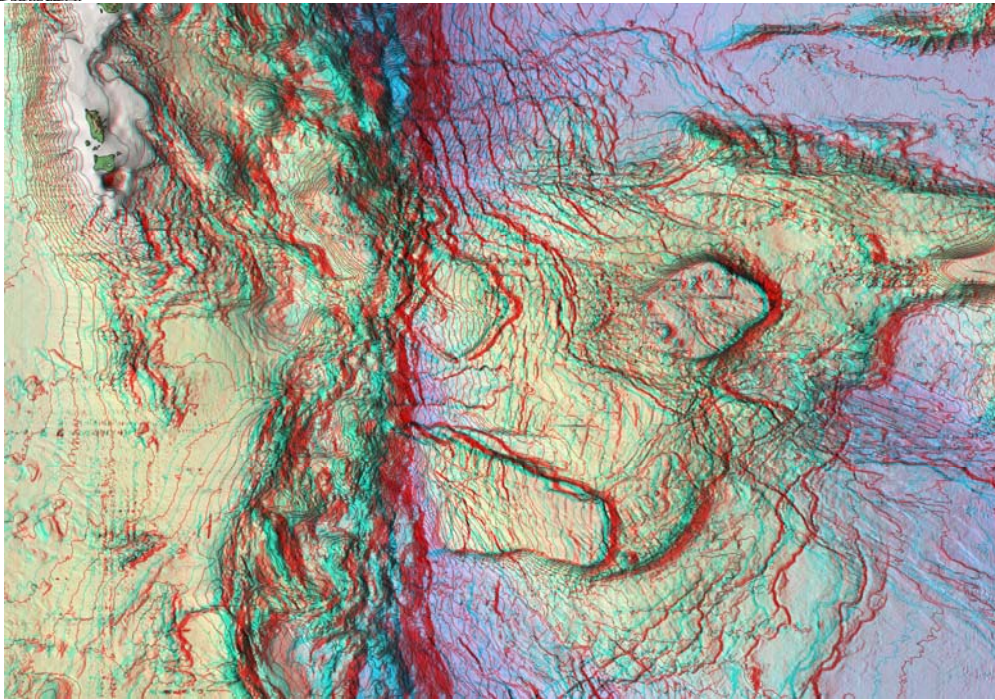


図2 大陸棚調査で蓄積された新しい海底地形デジタルデータはより詳細で、かつ多くの新しい発見に結びついている。小笠原諸島を乗せる陸塊に小笠原海台という巨大な海山群がテクトニックな衝突をしているところのアナグリフ立体(3D)海底地形図。

<基礎科学と応用科学の両立>

昨年のオバマ大統領の就任によって、9000人規模の職員を抱える米国地質調査所(USGS)の所長に Dr. Marcia McNutt (写真)が初めての女性として選任され、同時にUSGSが所属する内務省長官の科学顧問(Science advisor)にも就任しています。



写真 2009年12月のAGU学会で特別レクチャーを行ったUSGS初の女性所長となったDr. Marcia McNutt(1952-born)。USGSは9000人以上の職員を擁する内務省の研究機関。彼女は同時に内務省長官の科学顧問(Science advisor)に就任。
略歴: USGS メンロパークで地震予知などの研究、その後MITの地球物理学の教授、さらに、カリフォルニアモンテレーのMBARI研究所に12年間 president and CEOとして在職のあと、2009年からUSGSの所長。

昨年12月にサンフランシスコで開催された米国地球物理学連合学会(AGU; American Geophysical Union)で企画された特別講演の講師として招かれた彼女の講演を聴く機会を得ました。講演の論旨の流れは以下のようなものでした。私が所属する、旧地質調査所(GS&J)を含む産業技術総合研究所(職員規模:数千名)より大きなUSGSの所長の話だったので興味を持って聞きました。

- (1) 科学研究の評価(分類)基準軸に2つあり、一つは「より基礎的か応用的か」の軸で、他は「社会的効用の度合い」による軸の二つである。その分類の組み合わせで意味のある3つの分類として、1) 基礎的かつ社会的効用の低い研究、例えば20世紀初頭の原子物理学におけるニールス・ボーアに代表される研究、2) 応用的かつ社会的効用の高い研究、例えば発明王エジソンに代表される研究、そして3) 基礎的科学テーマであり、かつ社会に役立つ成果が期待される研究、その好例としてパスツールによる発酵現象の研究がペニシリンの発見に結びついたことをあげる。この分類法の特徴をよく表す3)に分類される研究から、この分類法をパスツールの4象限(Pasteur's Quadrant)と呼ぶ。(この分類法はDonald Stokesの同名の本によって初めて紹介された。)
- (2) USGSは内務省に所管され、社会的要請に合致した目標をもって研究を行う「ミッション主導型の研究所(mission oriented agency)」である。つまり、上記分類の2)もしくは3)の研究を行う組織である。
- (3) USGSで行われている研究のなかから、特に上記分類で3)に分類される研究を含む社会的有用な研究をいくつか選んで紹介した。
- (4) 最後に「USGSで行われている研究の妥当性/成果に対する評価は何によって担保されるのか」という聴衆の質問に答えて、「peer reviewによる」と発言しました。

Applied and Basic research			
Quest for fundamental understanding?	Yes	Pure basic research (Bohr)	Use-inspired basic research (Pasteur)
	No	--	Pure applied research (Edison)
		No	Yes
Considerations of use?			

The result is three distinct classes of research:

1. Pure basic research (exemplified by the work of Niels Bohr, early 20th century atomic physicist).
2. Pure applied research (exemplified by the work of Thomas Edison, inventor).
3. Use-inspired basic research (described here as "Pasteur's Quadrant").

図3 社会学者 Donald Stokes による研究の分類法、パスツールの4象限(Pasteur's Quadrant)の説明図。(wikipedia から抜粋)

<コンピュータが加速させる可視化技術と錯視現象>

「百聞は一見に如かず」という言い回しは、コンピュータによる可視化技術を推進（吹聴）するための常套句のひとつ（自分でも使った）だと思いますが、聞き飽きると反発したくなるのが人情でしょうか。違うことも言ってみたくなるものです。例えば『一を聞いて十を知る』も大事だなどと。それでもやっぱり「アバター」（3D映画）は面白いですね。

しかし、感情的になるだけでは説得力がないので、「感覚的」に訴えようかと思えます。いえ、『論理的』の間違いではなく『感覚』的」にです。

生き物の一種である人は、「感覚」器官を通して外界を「知覚」し、進化による戦略的機能を獲得した脳によって「認識、理解」し、「行動」していると考えられます。（「感覚」→「知覚」→「認識、理解」→「行動」という流れの他にもっと複雑な相互作用があることは薄々気付いていますがここでは議論しません。）

我々は3次元空間の世界に住んでいますが、「見る」という知覚行動は、2次元断面の視覚情報を通してしか空間を見ていない行動です。言い換えれば、3次元物体（空間）を2次元視覚センサーでしか探知できないし、脳にはその2次元画像情報を処理する機能しかないのです。さらに強調すれば、人は2次元画像ならば、そのまま認識できる機能をもっていると言えます。従って3次元物理空間の計測情報を可視化するとは、「3次元情報」を「2次元に解釈した画像」に投影（変換）するということです。錯視現象はこの3次元実体情報を2次元感覚情報（視覚刺激情報）へ変換する過程で生じます。例を2つ挙げます。

(1) 錯視現象その1

非常にシンプルなデザインであるのに、劇的なイリュージョンを起こす例として、2007年に亡くなった米国のマジシャン Jerry Andrus(*1)が考案した『視覚的錯覚』を引き起こす3次元オブジェクト（ドラゴンの紙模型）があります。以下の図4は、自らは動かない紙模型のドラゴンをいろんな角度からデジカメで撮って並べたものです。画像中に黄色の矢印で示したように、台座の向きとドラゴンの頭の向きの関係が、カメラの撮影方向に応じて変化します。つまりドラゴンが首を振っているように感じます。見ている人がそう感じているだけです。ムービーで見ればもっと劇的な体験ができます。人の目は騙せても、機械の目は騙せないはずだ、という先入観を裏切られるからかもしれません。

*1 Jerry Andrus : アメリカのマジシャン (2007年没)。 <http://jerryandrus.org/> を参照。

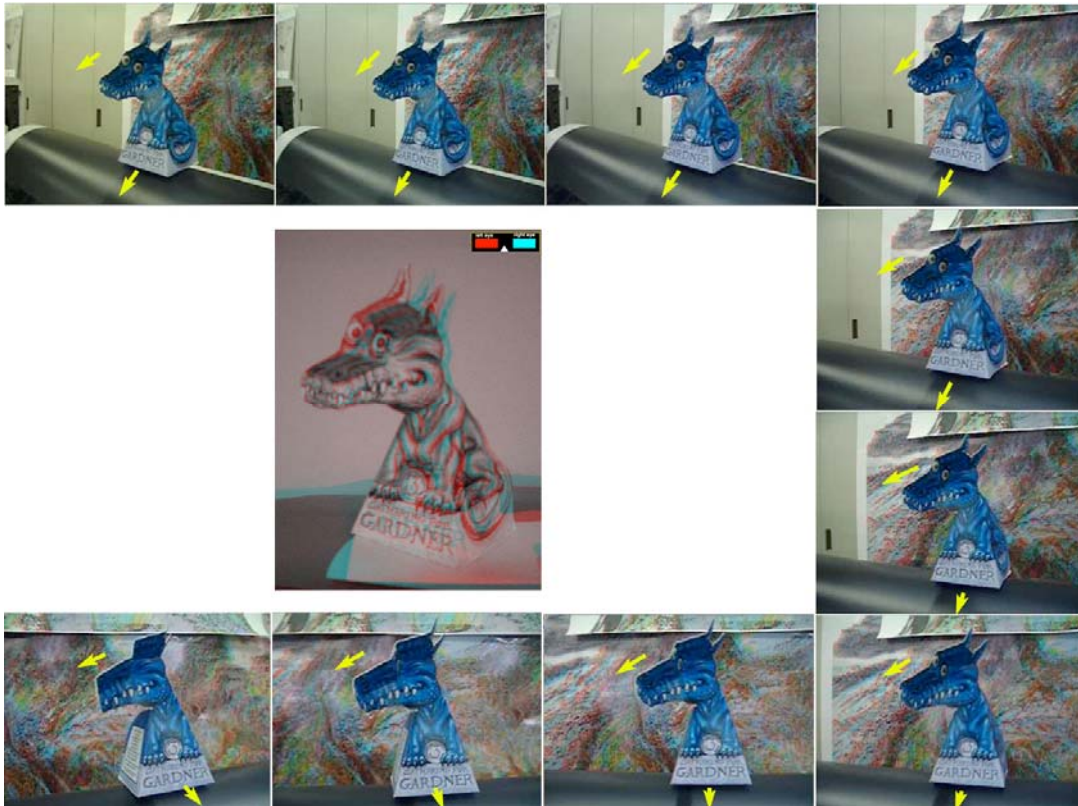


図4 錯視を生じる三次元模型のスナップショットとその三次元構造を示すアナグリフ画像。ドラゴンの頭部が常識的な形状とは異なり、観察者に対して凹んでいる。この模型の作り方や錯視のビデオは、<http://jerryandrus.org/>からたどることができる。

(2) 錯視現象その2

研究現場も錯視現象であふれています。しかも錯視現象とは言わずに3D画像とか、VR(バーチャルリアリティ)とか、別の表現をしているかもしれませんが、見方をかえれば「錯視」を利用した可視化技法のひとつです。下図にコンピュータで作成した3D画像を示します。図5中の(A)は富士山周辺の地形を地下深部から斜め上に見上げた場合の単眼の透視図。(B)は同じく富士山を上空から見下ろした場合の単眼透視図。(C)は宇宙航空研究開発機構(JAXA)のウェブサイトからダウンロードした、通称「かぐや」による月面ハイビジョンムービー『地球の出』を画像シーケンス(駒画像)に分解し、ある程度の視差を生じる2枚の画像を選択し、アナグリフ立体写真として合成したものです。人間は左右の視差でしか立体感を感じないはずなので、元の画像を90度回転して表示しています。(D)は小笠原諸島周辺の広域海底地形データから複眼(2つの視点)の鳥瞰図(最近は鯨瞰図ともいう)を多数作ってムービーに合成したもので、(C)同様に青赤メガネを用いると立体視ができます。

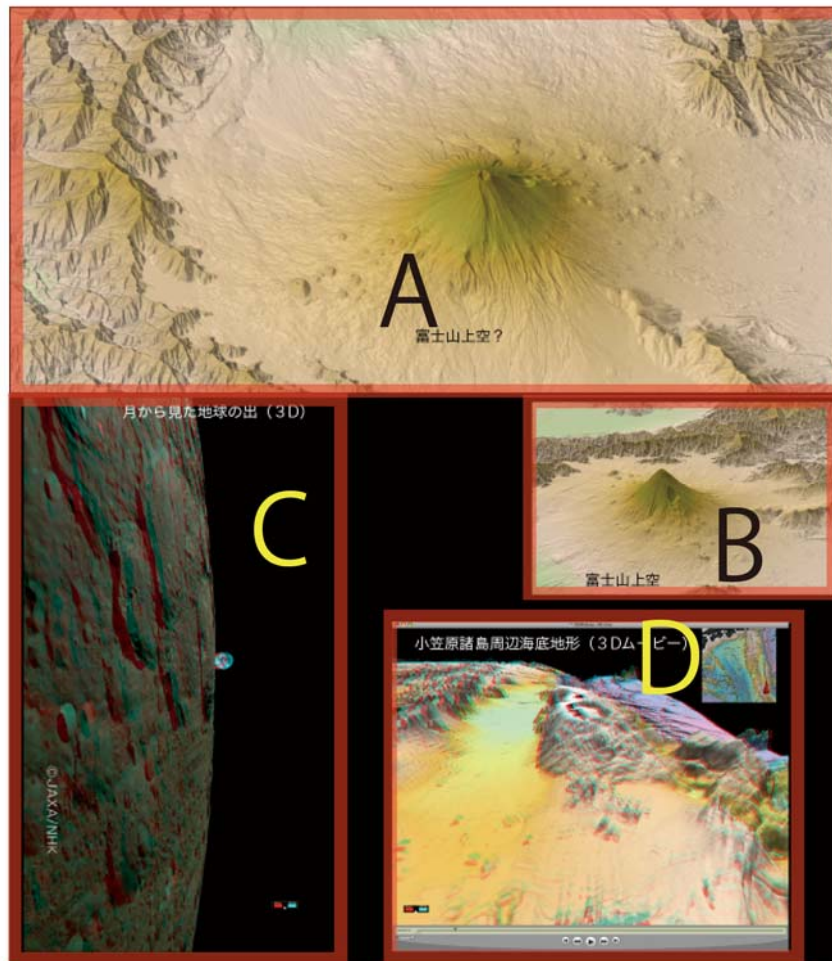


図5 錯視現象を積極的に利用して3次元空間を視覚的にわかりやすく表現しようとする技術が花盛りです。

<『錯視現象』の必然性>

三次元物体や投影された二次元画像を見たときに我々が感じる『錯視現象』を生じさせる二つのを示しました。実際には凹んでいるものが膨らんでいるように見えたり、その逆に感じたりするのはどうしてかという説明には、人の知覚と認識のメカニズム(脳の機能)についても知る必要があるはずですが、私の専門外です。しかし、人(脳)に錯覚を引き起こしている外部要因に関しては、以下のようなことが言えます。それは、『三次元情報(富士山も、ドラゴンも)を、二次元平面に投影した情報からだけでは、元の三次元情報に復元できない』場合があるということです。つまり、人の目(単眼)に写った画像も、ビデオや写真で撮影された画像も二次元なので、情報が失われている(足りない)のです。しかし、脳は私たちが通常意識していない特殊な機能を使って、二次元情報から三次元を復元することができるため、我々は三次元をちゃんと認識したり、錯視したりしていると考えられます。

この錯視を引き起こす『外部要因』についての説明を、図6に示します。結論をまず言葉で表現しておきます。『“ある三次元物体”を任意の視点で、二次元平面に投影した画像と、“その三次元物体の鏡像”が実像だと仮想した場合に生じる投影画像とが区別できない(二次元画像として同一である)別の視点が必要存在する。』ということです。

それでは、図6の説明をします。(1) 実際の物体の輪郭線を紺色の実線とします。(2) 実際の視点を紺色の目の位置とします。水色の矢印は、実際の物体から目に届く光線です。(3) 水色の目の視線は、紺色の目の視線と同一線上(平行)ですが、向きが逆です(実際の物体を裏側から見た場合と考えてください)。(4) 赤い点線は、任意の基準面に対する、紺色の実線の鏡像です。(5) 赤色の目と、赤い矢印は、水色の目とその位置から見た場合の視線の鏡像です。そしてこれが、紺色の目が見る画像と区別つかない仮想的な物体のからの光線と目の位置になります。

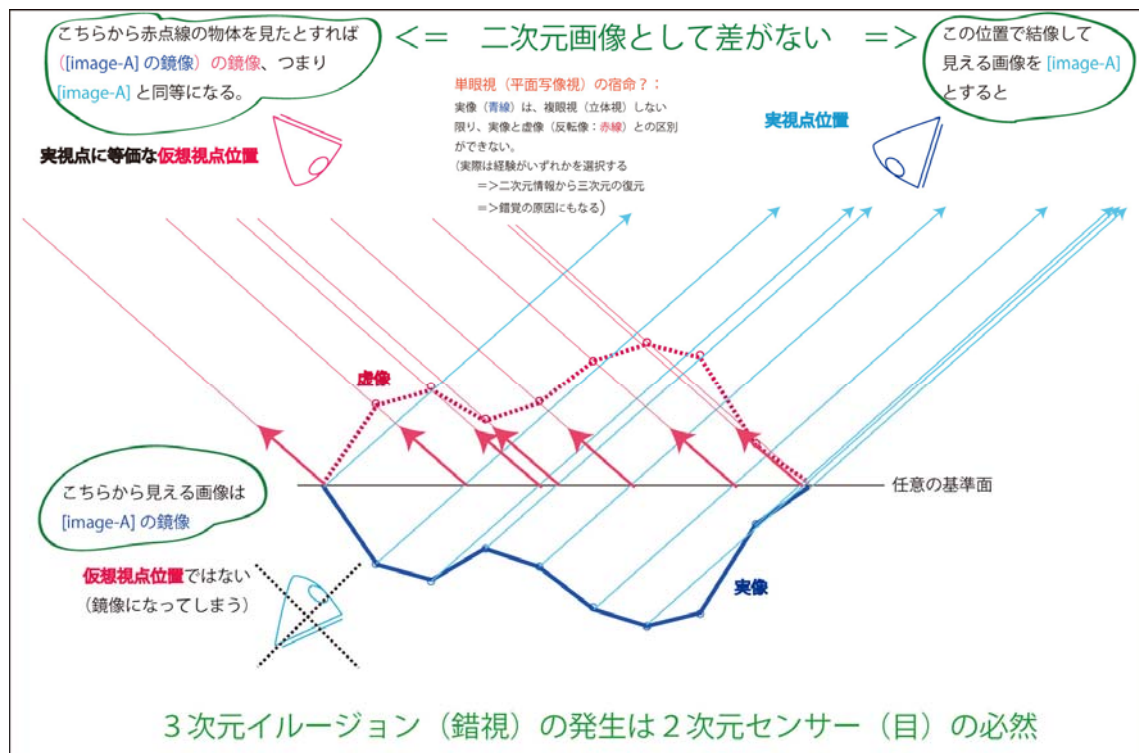


図6 三次元物体が錯視を起こす外的要因の説明図。紺色の目の位置から見た紺色の物体(実体と仮定)の像は、赤色の目の位置から、赤い点線の物体(実体の鏡像)を見たときの像と区別がつかない。そして、紺色の目の位置を連続的に変化させれば、赤色の目の位置も連続的に変化するため、人(脳)は、はじめに認識したのが虚像であってもそうとは気がつかないのだと考えられます。

地下から見上げた富士山もドラゴン紙模型も、実際の視点からは、図で青の実線で示したように、観察者に対して凹んでいるにも関わらず、あたかも赤の点線で示したように、飛び出したような表面をもっていると錯覚していることから生じていると考えられます。なぜ錯覚するかといえば、見えている物

体の表面のテクスチャーが経験的に膨らんでいるもの（場合によっては凹んでいる）と思い込んでいるからではないでしょうか。物理的には、我々の網膜上に結像する実際の画像の各光点の発信源は、もともと青の実線上にあったものなのか、それとも赤の点線上にあったのかは単眼（投影された網膜上の二次元画像）では区別できないことは今説明しました。

<最後に>

この錯視現象が地球科学とどんな関係があるのかを少し述べます。コンピュータの可視化技術の発達によって、VR（バーチャルリアリティ）という技術体系が多くの分野で覇を競っています。文字通り地に足を着けた分野である地球科学も、GISや可視化技術の大きな恩恵を受けています。例えば、実際に行くことのできない海底や地下深部の観測データやその成果などが、コンピュータグラフィックスを使って再構成され、疑似体験（可視化されたVR体験）できるというわけです。しかし、VRの最終目標を、人の知覚能力に対して、現実世界と本質的に変わらない刺激環境を作り出すことと考えれば、“究極のVR”世界は、自然そのものではなくて、自然のもつ感覚刺激環境の複製のことだといえます。“究極のVR”世界を構築するためには、自然の深い理解が必要ですが、“究極のVR”世界そのものは、人の知覚の総体を超えるものではないと考えられます。我々が自然を科学的に知るという行為に、知覚(perception)→認識(recognition)→理解(understanding)という段階があると考えれば、VRはすべての段階での知識を前提としながらも、perceptionの世界に目標をもっていると言えます。そして、このperceptionのレベルでは、人は本質的に騙されている（錯覚と現実の狭間を行き来している）のだと考えられます。

VRの技術は可視化技術だけのものではありません。人間のもつあらゆる感覚を研究して、VRとして再構築することでいろいろな応用が考えられているようです。マイクロマシンの製造やコントロール、極限環境下での作業補助や医療現場での応用などが進行しているようです。

参考資料：

三次元空間の認識（経験か必然か）：錯覚と現実の境界、岸本清行、地質ニュース 655号、p63-65、2009年3月、ISSN 0009-4854