

「宇宙背景放射のゆらぎ」画像の教材化

埼玉県立豊岡高等学校

原 正

1. はじめに

私は3年生文系の選択地学の授業で宇宙論を発展的に取り扱っています。地学の分野では古くから地質や地史、鉱物、気象といった分野では露頭観察や岩石実験あるいは天気図作成など、実物を取り入れた実習が行われています。PAOFITSやJAHOUの活動によって、天文の分野でも実際に研究に用いられる実物のデータを使った教材が開発されるようになり、天文でも実物を使った実習ができるようになりました。ハッブル則や銀河の距離を測るといった観測データを用いた実習で取り上げています。宇宙論を取り入れた授業をする中で、宇宙膨張以外の内容で何らかの実習ができないものかと長く考えていたのですが、ようやく、今回の教材化のアイデアが浮かんできました。

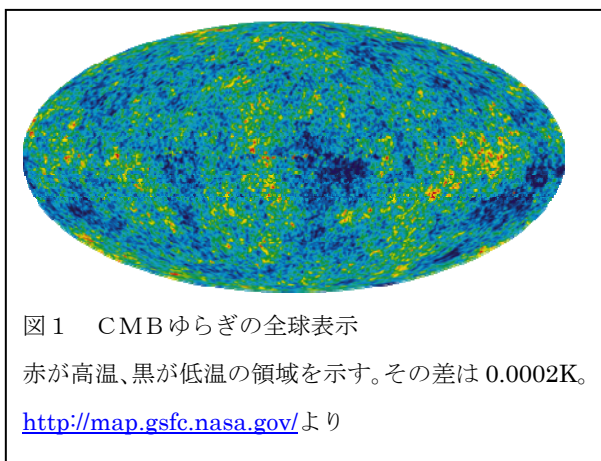


図1 CMBゆらぎの全球表示
赤が高温、黒が低温の領域を示す。その差は0.0002K。
<http://map.gsfc.nasa.gov/>より

宇宙背景放射（Cosmic Microwave Background,以下CMBと略す）はビッグバンが起こったことの証拠として重要な現象です。高校の地学1の教科書にも初期の宇宙が小さく高温であったことの証拠として記載されています。CMBは単に初期宇宙が高温だったことの証拠であるばかりでなく、宇宙の等方性、宇宙の平坦性を示す重要なものです。特に、今世紀になってWMAP衛星による観測から、CMBの観測精度は大幅に向上し

ました。温度の空間的なゆらぎの大きさから、宇宙は平坦でありビッグバンは 137 ± 2 億年であることが明らかになりました。また、宇宙の平坦性から、宇宙の物質、ダークマター、ダークエネルギーの割合も明らかになったのです。今回は宇宙の平坦性を明らかにしたCMBゆらぎをテーマとして、WMAP衛星の公開されているデータを用いた実習を思いつきました。

2. WMAPのデータ

最初に実習可能性を考え始めたのは、WMAPの2003年の成果をみたときでした。このデータを用いて温度ゆらぎの大きさを測る実習ができないものかと考えました。データがFITSで公開されていましたが、座標がHEALPIXという記述で、残念ながらマカリで

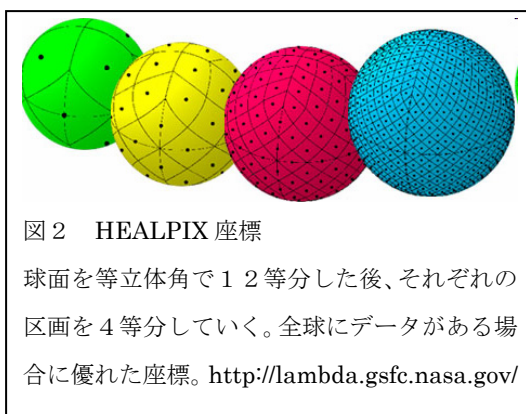
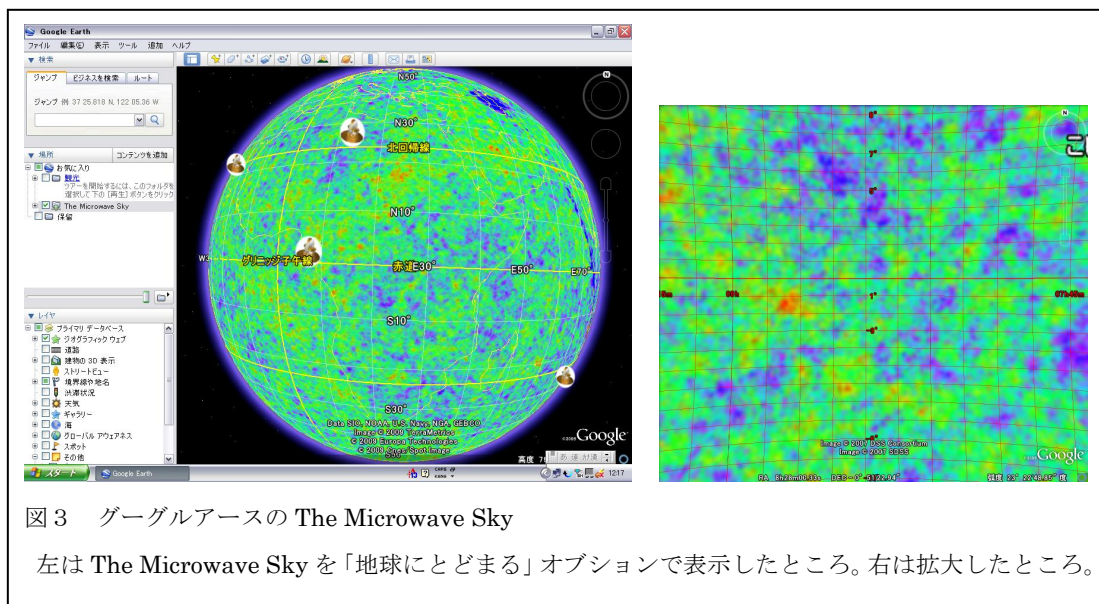


図2 HEALPIX座標
球面を等立体角で12等分した後、それぞれの区画を4等分していく。全球にデータがある場合に優れた座標。<http://lambda.gsfc.nasa.gov/>

は読み取れませんでした。そのため、しばらく保留状態になっていました。

最近、グーグルアースのコンテンツに「The Microwave Sky」というのがあること気がつきました。なんと、WMAPのデータを表示してくれます。グーグルアースを起動して、「コンテンツ追加」→「空」→「Microwave Sky」とたどって見つけてください。上手に拡大していくと緯度経度（赤経赤緯に相当）の線が角度 1° を計るのに都合がよい間隔にできます。



緯度方向、経度方向の温度ゆらぎの大きさはピークからピークがだいたい 1° ぐらいになりそうだと見当がつきます。しかも、「ツール」の「定規」を使うと、ピークからピークの長さを角度で測定できます。実際にやってみると 1° 前後の値が求まりますので、ピークからピークをたくさん測定することで 1° 前後の値がでそうです。ただし、温度が色で表されているので、ピークをどれにするかの判断するさいの個人差が大きくなりそうです。試みに図3の右のように拡大した状態でスクリーンキャプチャしてマカリでグラフ表示すると、グラフのでこぼこが緯度の線と同じ程度になることがわかりました。ただし、この表示は赤道など、何か所かで画像の連続性が保たれていません。緯度経度の赤い線をピークと誤認する可能性も捨てきれません。ここでピンとききました。なにも FITS でなくても公開されている全球表示の PNG 形式の画像（図1）でグラフが作れるのではないかと考えたわけです。

解像度が高く、データとして信頼できる画像は NASA のデータセンター内の宇宙背景放射のデータ公開サイト LAMBDA にあります。先ほどの FITS もここにあります。WMAP の公式サイトにも画像があり、今回はこちらを使っています。FIVE-YEAR RESULT から 2048 x 1024 解像度の PNG ファイルを使います。

3. マカリで波長分布を求める

WMAPのチームは得られたデータの自己相関をとることでゆらぎのパワースペクトラムを得ています。もっとも振幅の大きい揺らぎは約 1° （詳細に読むと 0.8° ）という結果を得ています。この 1° というのが、宇宙が平坦であることを示しています。もし、宇宙が開いていれば揺らぎの角度は小さくなり、宇宙が閉じていればこの角度は大きくなります。今回の教材で得たいのは、もっとも目立つゆらぎピークの間隔が角度で 1° になることです。高校生には自己

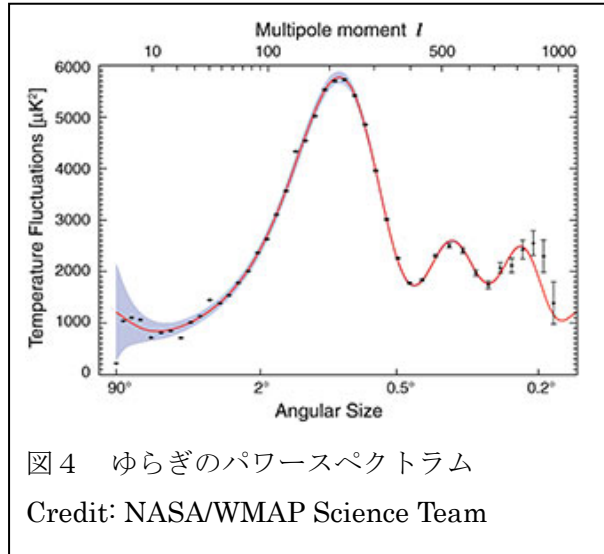


図4 ゆらぎのパワースペクトラム
Credit: NASA/WMAP Science Team

相関をとるとか、フーリエ変換をするとかは無理なので、結局採用したのは暖色-寒色で温度差を表現した画像の赤の部分だけとりだして、ピークの座標値を読んでいって分布を作ってみる方法です。

先の画像ファイルをマカリで開きます。ピークを読むために高温を示す赤つまり r g b 表示の r だけに注目しました。低温は黒で示されているので、今回の目的には合いません。なぜなら、黒は、r g b すべての輝度がない状態を見なければならず、高温の場合の r のみに注目するなどという単純化ができないからです。

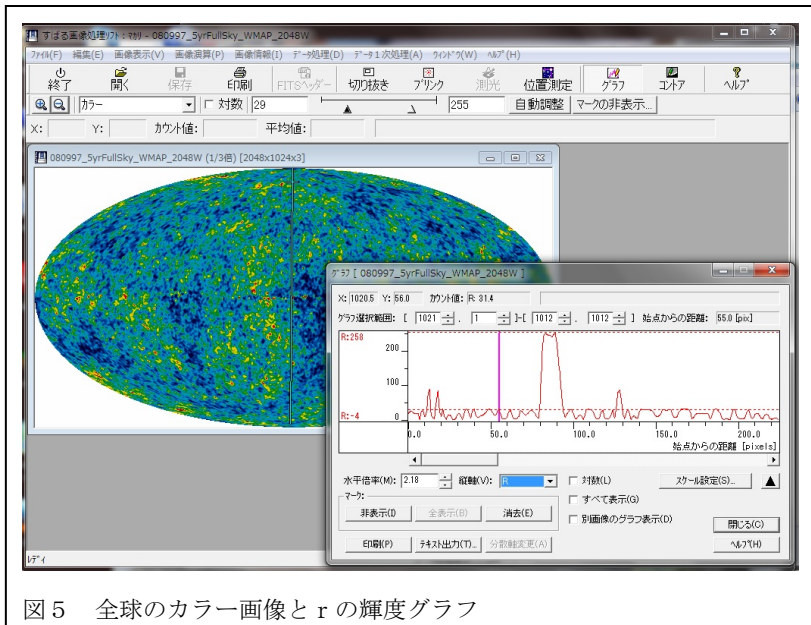
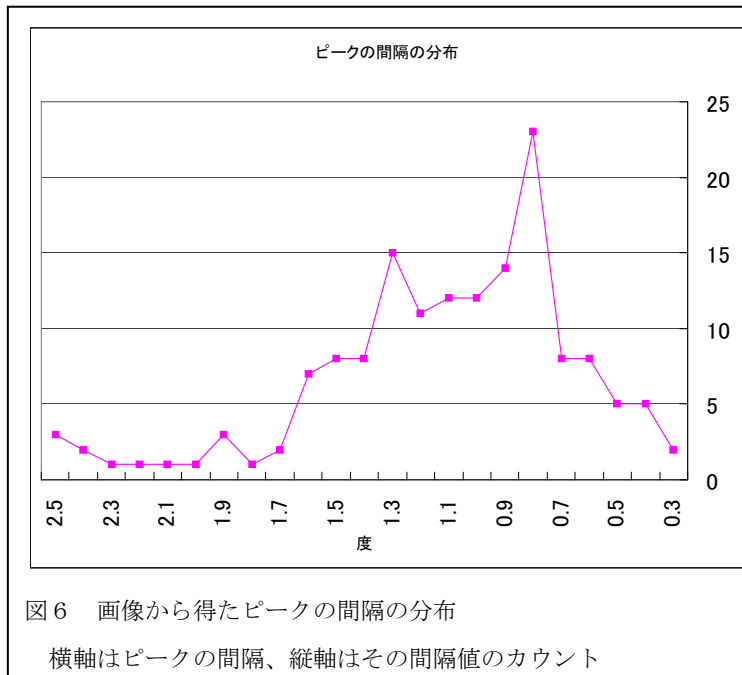


図5 全球のカラー画像と r の輝度グラフ

全球表示なので、地球のみかけの角度が正しく表現されるのは赤道か極-極方向です。今回は極方向をスライスするようにグラフを作りました。このグラフから各ピークの間隔を pixel 単位で読みます。グラフは水平方向倍率を変更して読み取りやすくします。 180° が

1024pixels であることを使ってピークの pixel 値を見かけの角度に変換します。それから、間隔を計算し、 0.1° 刻みで数の分布をとったのが図6です。たとえば、 1.389° ならば、 1.4° としてカウントしました。



WMAPチームの解析結果のグラフとは横軸の取り方やもちろん解析方法も違うのですが、 1° 前後に分布の大きな山があることがわかります。ちなみにピーク間隔の平均値は 1.15° でした。

2° より大きい側が 1° より小さい側よりも分布が少ないのもWMAPチームの結果と似ています。

4. 今後の課題

今回の試みでは、FITS を使わずに寒色-暖色表示のPNG画像からでも、高温のピークを「r」だけで読むことで、 1° に近い値は出せることがわかりました。しかし、本当に「r」だけで読むことに問題はないのかという疑問はつきまといまいます。科学的に正しくはHEALPIX座標で表現されたFITSを解読してリアルな輝度表示のデータを使うべきだと思います。ただ、マカリがこの座標表示に対応していないことが大きな壁になっています。メルカトル図法的な表現に変換するか、全球でなくても一部だけ四角く切り取ったような画像ができればそれでもよいかもしれません。ただ、今の自分にはそのような能力はないので、すぐの対応はむずかしいです。

また、今回はWMAPのデータのうち、CMBの2.7Kからのゆらぎを教材にすることを試みましたが、より高校地学の発展的内容としてふさわしいのは2.7Kを目的とする教材や、等方性を学ぶ教材だろうと思います。WMAPのデータをこの方向に使うことも探してみたいです。

まだアイデア段階で授業の実践は行っていないので、これも課題といえます。

【参考】

WMAP公式サイト <http://map.gsfc.nasa.gov/>

NASA データセンター CMBデータサイト <http://lambda.gsfc.nasa.gov/>

Google earth (日本語) <http://earth.google.com/intl/ja/>