

# 人工衛星と電波反射板を利用した 地上絵制作技術に関する研究

Studies on the Production of the Geoglyph Using the Satellite and Radio Wave Reflector

鈴木 浩之 SUZUKI Hiroshi  
大木 真人 OHKI Masato

## はじめに

これまで人工衛星と電波反射器を利用して巨大な地上絵を描く表現技術について研究を行ってきた。鈴木浩之（鈴木）、大木真人（大木）は、2013年から共同研究により、電波による観測を行う陸域観測技術衛星2号「だいち2号」を利用して全長50kmの範囲を一度に撮像し、同時に地上に配置した電波反射器に「だいち2号」の電波を反射させる手法により地上に星座を描く技術を開発した。2016年にはその成果をKENPOKU ART 2016 茨城県北芸術祭<sup>1</sup>に発表している。

金網+塩ビパイプ製で1辺が1mほどの電波反射〈器〉を利用した地上絵の制作は、専用の刃物等の工具を利用して工業製品を加工し、それらを決められた手順で組み立てるプロセスを経る。一方、新聞紙1ページ大の電波反射〈板〉を用いた地上絵制作の手法では、1点の反射を得るための材料が安価となり、電波反射器と比較してさらに簡便な工作で参加が可能となる。

本研究により、電波反射板の利用が可能となることで、人工衛星を利用した地上絵制作において、大勢の幅広い年齢の参加者がより多くの点を同時に配置しやすくなることから、電波反射を利用した地上絵が面を描く表現技術を獲得する可能性が高まると考えられる。

## 研究の背景

人工衛星を利用して地上に描いた図等を撮像する場合、光学センサを搭載した地球観測システムを利用する方法が考えられる。これまでも光学センサを利用した地上絵の撮像は、1980年6月11日にアメリカの人工衛星Landsat 3を利用しカリフォルニアのモハーベ砂漠においてトム・ヴァン・サン（Tom Van Sant, 1931～）が実施した《リフレクションズ・フロム・アース》（Reflections From Earth）<sup>2</sup>を皮切りに、様々な試みが実施されてきた。

鈴木は同じく光学センサで日本の地球観測システム「ASTER」を利用した地上絵制作の手法を開発する目的から、2010年に金沢市内の小学校に依頼して人工衛星に向けて太陽光を反射させる実験<sup>3</sup>を実施した。しかしながら、当日の天候等の影響や、鏡の角度を厳密にコントロールする技術が伴わず、光学センサが地上からの反射光を捉えることはなかった。鈴木はこの実験の失敗を経て今後繰り返される本芸術プログラムに光学センサを利用することが難しいと判断し、それまでの光学センサから、天候に左右されない電磁波周波数帯を利用した地球観測システムの利用へと方法を変え、レーダによる地球観測システムを利用した人工衛星による地上絵制作の可能性について調査を進めた。

日本ではレーダを利用して地球観測を行うシステムを人工衛星に搭載して運用する技術が開発され、特にLバンドを利用した合成開口レーダ（以下、

SAR) が陸域観測技術衛星「だいち」(以下、ALOS) に搭載され2006年より運用されてきた。本研究は SARを利用して市民が参加する地上絵制作の実施を数多く実現させることを目指しており、2013年より「だいち2号」(以下、ALOS-2) の開発から運用、研究、利用を総合的に行うJAXA地球観測研究センターの大木との共同研究体制が構築され、芸術と宇宙技術の両分野の研究者ら協力して本課題に取り組んでいる。ALOSは2011年に運用が終了したが、後継機となるALOS-2が2014年より運用を開始し、2014年度は、本課題に取り組む環境が整った状況であった。

鈴木は、電波を利用した地球観測システムを地上絵の制作に利用することで、天候に左右されずに予定通りのスケジュールで地上に配置したコーナ・リフレクタを宇宙から撮像することができると考えた。また、光学センサでは厳密な角度調整が必要であった反射器の配置において、中心からある程度ずれた角度から入射した電波でも(コーナ・リフレクタの特性により)正反射するため、配置時の誤差を許容する反射器が開発可能であり、成功率が高くなると予測した。加えて、シンプルな構造で製造コストも安価なコーナ・リフレクタを開発することで、これらを一度に多数のエリアに点在させて町全体を覆う大きな地上絵を、参加者自らが製作した器具を用いて多人数で描く行為を実現することが可能となると考え、性別、年齢を問わず多くの人々に同種の感情を喚起する芸術プログラムとして機能すると思った。2016年度までの研究ではこれらの仮説を実証し、本芸術プログラムが国際的に展開可能な機能を有する芸術プログラムの開発の基礎となり、日本の科学技術による芸術活動が国際社会に貢献する可能性を示す研究を進めてきた。<sup>4</sup>

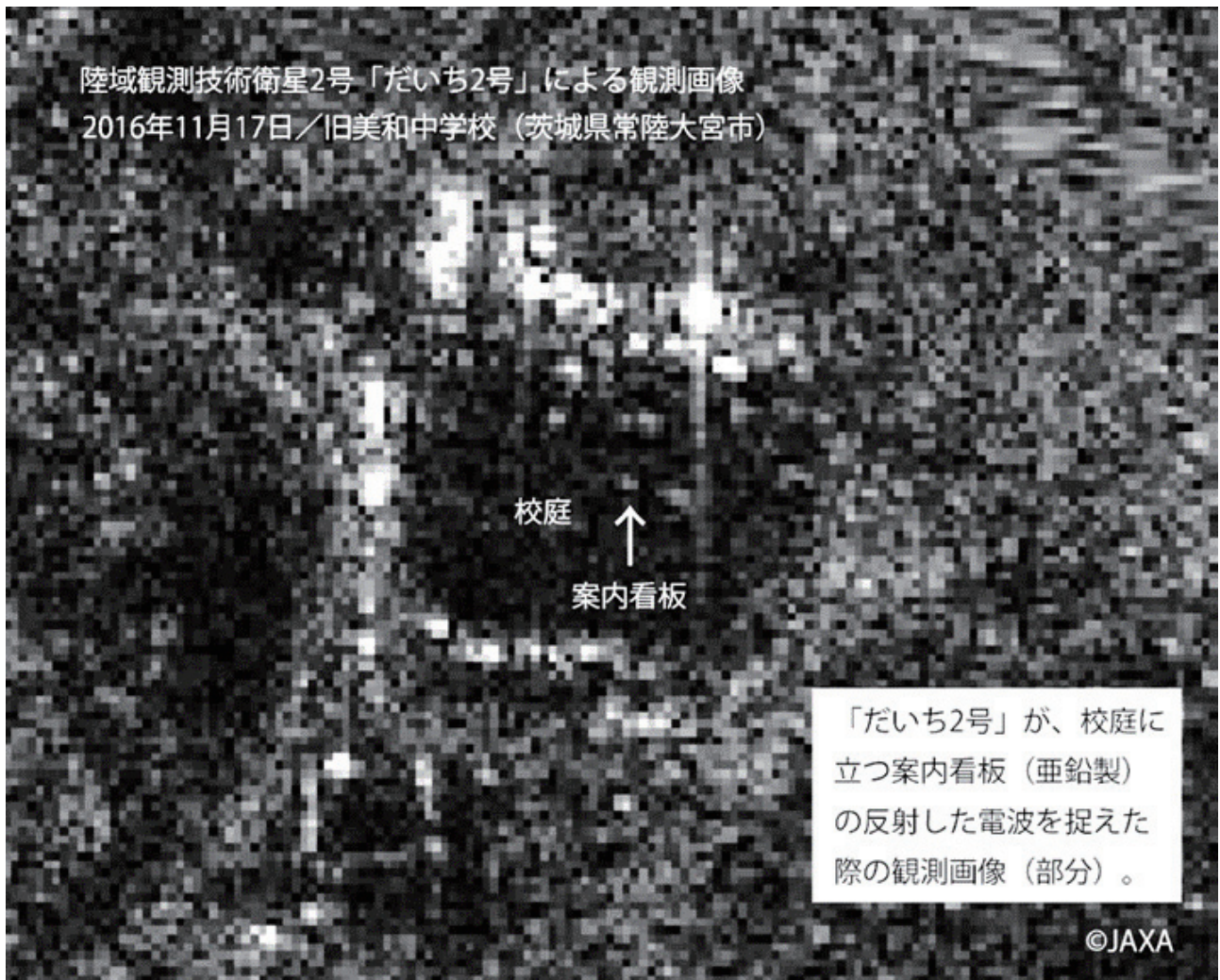
## 研究の経緯

ALOS-2は小さな金属板が反射した電波を観測することが出来る。鈴木は2016年11月17日、茨城県常陸大宮市の旧美和中学校校庭の中央に1mほどの高

さで固定され看板として機能していた40cm×50cm程度の亜鉛板がALOS-2からの観測用電波を効率よく反射し観測画像上に記録されていることに気が付いた。観測画像上に記録されたその電波反射の痕跡を基に、新聞紙(1ページ)大の金属の板が、その法線と方位角を合わせることで電波反射器と同種の機能を持つと考えた。

点を中心とした表現から面による描画へと展開することで、より多くの視覚的なコミュニケーションが可能となる。人工衛星を利用した地上絵制作においても同様に、一度の撮像に多くの点を同時に写し込む技術の開発がその表現の幅を広げると考えられる。これまでの研究で合成開口レーダによる地球観測システムを利用した地上絵の制作において、金網と塩ビパイプを加工して作る電波反射器が1つの点を描くために有効であることは明らかとなっているが、点を集積させて面を描くほどの多くの点を安定的に同時に反射させるためには、電波を反射させるツールの性能と共に材料や加工のコストを下げる必要がある。本研究では、これまでの〈点〉の描画技術を応用し、人工衛星を利用した地上絵制作のための表現力向上と器具製作の費用や加工工程、製作時間の抑制により〈面〉を描画する表現技術を開発する為、手作りした電波反射板を手を持ち、人工衛星が宇宙から照射した電波を地上で反射させ、それらが描く〈点〉を集合させた〈面〉を描く大規模な実証実験を実施した(「たかはぎ座」)。





## 仮説

新聞紙1ページ大の金属の板が、その法線と方位角を合わせることでALOS-2から照射された電波を地上で反射する器具として機能する。この器具は切断などの加工が容易で安価なアルミ箔と木製の板で作ることができる。また、この電波を反射する板状の器具（電波反射板）は正しい方位に向けて地面から垂直に立てて固定することで機能し、人の手による固定の場合の誤差を許容すると考える。電波反射板のヒントとなった看板が、電波の反射を目的とした構造物では無い仮設の板であったことから、仮説段階である程度の誤差を許容すると考えられる。

## 実験の方法

本活動は子どもを含む多くの市民が参加できる地上絵制作プログラムの開発を目的としており、手作りの電波反射板が、手で持って角度を合わせるプロセスにおいてどれほどの誤差を許容するかを調べ、隣り合う参加者らのお互いの適切な距離について考える必要がある。電波反射板の機能を確認するためには、アルミ箔と板によって作られた新聞紙1ページ大の電波反射板を地面に対して垂直に配置し、正しい方位に向けられた場合に効率的な反射が得られるのかを確認する必要がある。また、誤差が許容される方位角の範囲を調べるために、正しい方位角

を基準として段階的に異なる方位角で電波反射器を配置し、電波の反射強度の違いを観測した。さらに、実際に人が電波反射板を手で持った場合でも電波の反射が得られるのかについても調べた。

#### 「電波反射板の適切な大きさを調べる実験」

期日：2017年3月5日 11:56 (JST)

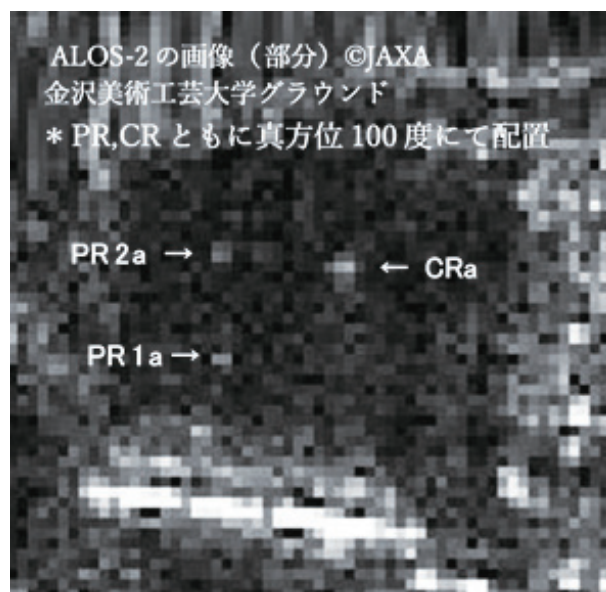
場所：金沢美術工芸大学グラウンド

#### 〈実験内容〉

7mm厚の木板に木工用ボンドでアルミ箔を貼り、A1判(新聞紙見開き)とA2判(新聞1ページ)の2種類の大きさの電波反射板(以後PR1a、PR2a)を用意する。電波反射板との比較の為に、金網と塩化ビニル製パイプを組み合わせて製作した立体的な電波反射器(以後CRa)を用意する。電波反射板と電波反射器はそれぞれ、ALOS-2が実験箇所を撮像する位置に向けて電波を反射する方位を合わせ、電波反射面を地面に垂直に立てて配置する。ALOS-2の観測画像上でPR1a、PR2a、CRaの反射強度を比較する。

#### 〈実験結果〉

地面に対して垂直で、且つ、正しい方位に向けて配置したA2判(新聞1ページ)大の電波反射板は、ALOS-2の照射した観測用の電波を効率良く反射する機能を備えている。





「電波反射板配置時の方位角と電波反射強度の関係を調べる実験」

期日：2017年3月19日 11:56 (JST)

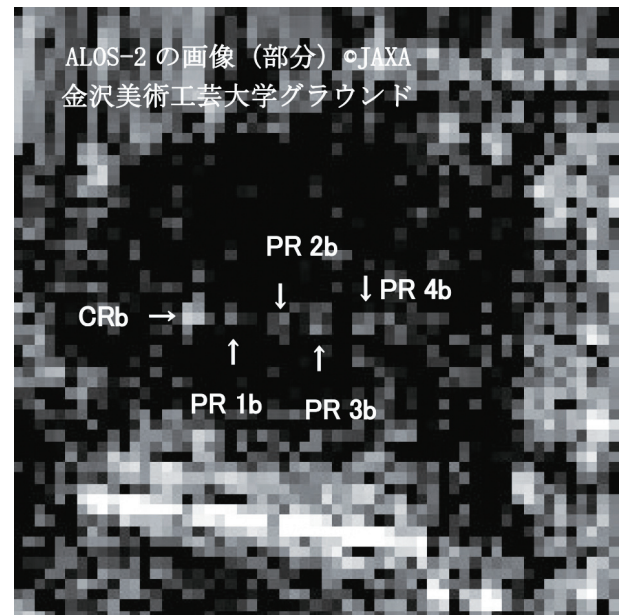
場所：金沢美術工芸大学グラウンド

#### 〈実験内容〉

7mm厚の木板に木工用ボンドでアルミ箔を貼り、A2判(新聞1ページ)の大きさの電波反射板(PR)を用意する。ALOS-2はこの実験の撮像時(電波反射板を基準として)方位角 $100^{\circ}$ (真方位)から電波を照射するため、まず電波反射板の面を $100^{\circ}$ に向けて垂直に配置しこれをPR1bとする。配置する方位角を $102^{\circ}$ に合わせたものをPR2bとして同様に配置する。また、方位角 $105^{\circ}$ 、 $110^{\circ}$ に方位角を合わせたPR3b、PR4bを配置する。比較のために同会場にCRbを配置する。ALOS-2からこれらの電波反射板を撮像し、配置する方位角の違いによる電波反射強度の変化をALOS-2の画像で確認する。

#### 〈実験結果〉

電波反射板を手で持って配置する場合に予想される角度のズレは、 $10^{\circ}$ までは許容され、地上絵制作を目的とした電波反射の強度に大きな影響を与えない可能性が高い。



「電波反射板を手で持って配置した場合の電波反射性能の確認」

期日：2017年3月22日 23:51 (JST)

場所：内灘海岸（石川県金沢市）

#### 〈実験内容〉

厚手のボール紙にアルミ箔を貼り、A2判（新聞1ページ）の大きさの電波反射板（PR）を3枚用意する。ALOS-2はこの実験の撮像時（電波反射板を基準として）方位角 $259^{\circ}$ （真方位）から電波を照射するため、3名がそれぞれ電波反射板を手を持ち、一列に並んで方位角を合わせた（PR1c）。また、比較の為、配置する角度を器具で固定したPR2cを配置した。ALOS-2からこれらの電波反射板を撮像し、手で持った場合の不安定性が電波反射強度に与える変化の有無をALOS-2の画像で確認する。

#### 〈実験結果〉

手で持ったPRは全てALOS-2に観測された。また、その電波反射の強度は地上絵を描く観点から大きな違いが現れたとは言い難く、PRを手で持って配置した場合の不安定性が電波反射の強度に与える変化は少ない。

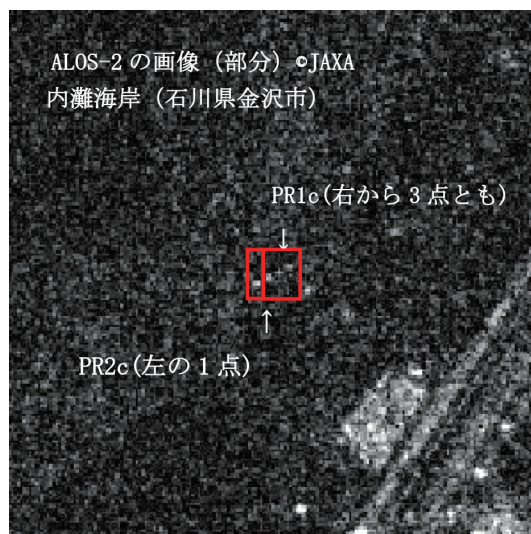


ボール紙とアルミ箔による電波反射板  
（大きさの比較の為に新聞1ページを並置）

当日の実験箇所の様子（夜間）  
内灘海岸（石川県金沢市）



ALOS-2の画像（部分）○JAXA  
内灘海岸（石川県金沢市）





「電波反射板の配置距離による反射強度の変化を確認する実験」

期日：2017年6月2日 12:04 (JST)

場所：磯上公園（兵庫県神戸市）

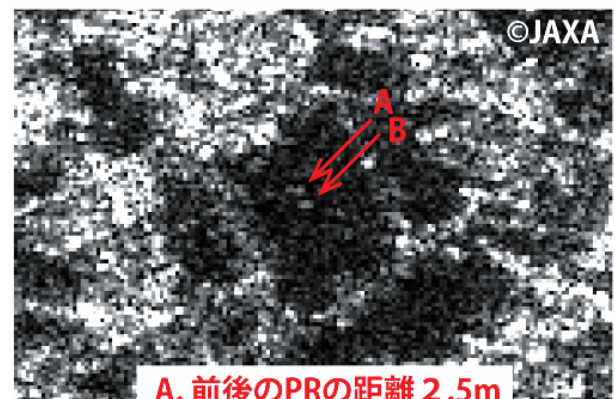
#### 〈実験内容〉

高分解能モード（3 m）のALOS-2観測画像上で、電波反射板（PR）が分解能以下の距離で2基近接するとき、観測画像上ではそれらが1つのピクセルに統合される可能性が高い。この時の反射強度について観測画像上で確認する。7mm程の板にアルミ箔を貼ったA2判（新聞1ページ）の大きさのPRを4枚用意する。4つのPRは2組に分けて地面に垂直に立てて固定するとともに、ALOS-2がこの実験の撮像時（PRを基準として）に電波を照射する方位角100°（真方位）に合わせて配置する（A組とB組）。AとBは前後のPRの間隔をそれぞれ2.5mと2mに設定し、ALOS-2からこれらの電波反射板を撮像する。電波反射板の配置距離による反射強度の変化の有無をALOS-2の画像で確認する。

#### 〈実験結果〉

ALOS-2高分解能モード（3 m）場合でも、PR配置の間隔が2.5mであったA組は観測画像上でわずかにPRが2つに分かれて表示されることが確認された。一方、2mの間隔でPRを配置したB組は2つのPRの電波反射が観測画像上で1つのピクセルに統合された。AとBでは観測画像上のピクセルの明るさが、PRが一つだけ配置されたピクセルの明るさと比べて、大きな差は現れなかった。

2017年6月2日 磯上公園（神戸市）



「電波反射板の集中配置による面的な表現の可能性を確認する為の実験」

期日：2017年6月15日 11:42 (JST)

場所：高萩市立高萩小学校、高萩市立秋山小学校、高萩市立東小学校、高萩市立松岡小学校（茨城県高萩市）

#### 〈実験内容〉

5km四方にある4つの小学校の校庭に電波反射板(PR)を真方位101°に合わせて約200~400基ずつ配置し、ALOS-2を利用して上空からこれらの小学校を撮像する。それぞれの陸上競技トラックの形を利用した4つの楕円形を描くことで、人工衛星を利用した地上絵の制作におけるPRの面の描画機能を明らかにする。

#### 〈実験結果〉

茨城県高萩市の主催により市内全小学校の全児童が参加して人工衛星から照射される電波を地上で反射する「たかはぎ座」の活動が行われた。

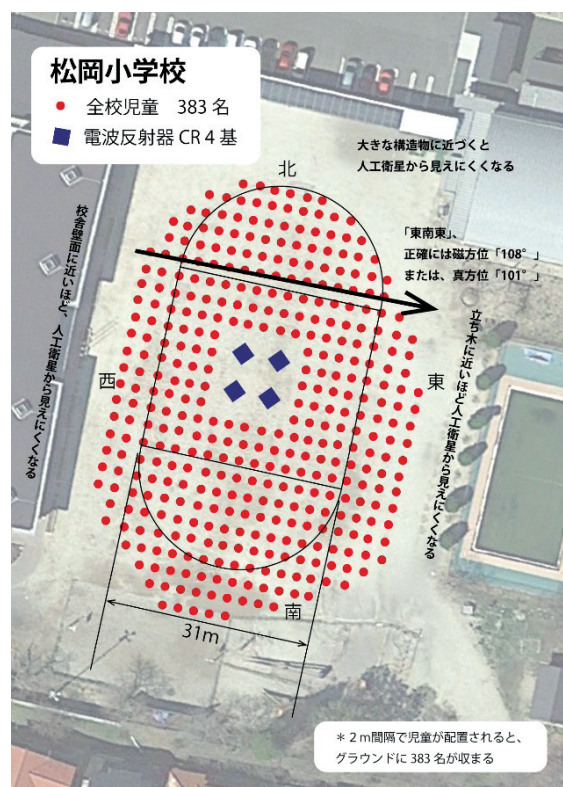
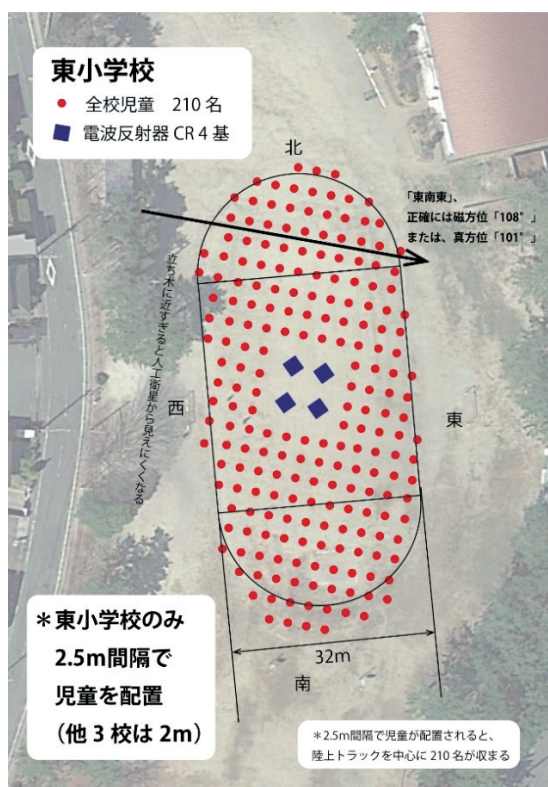
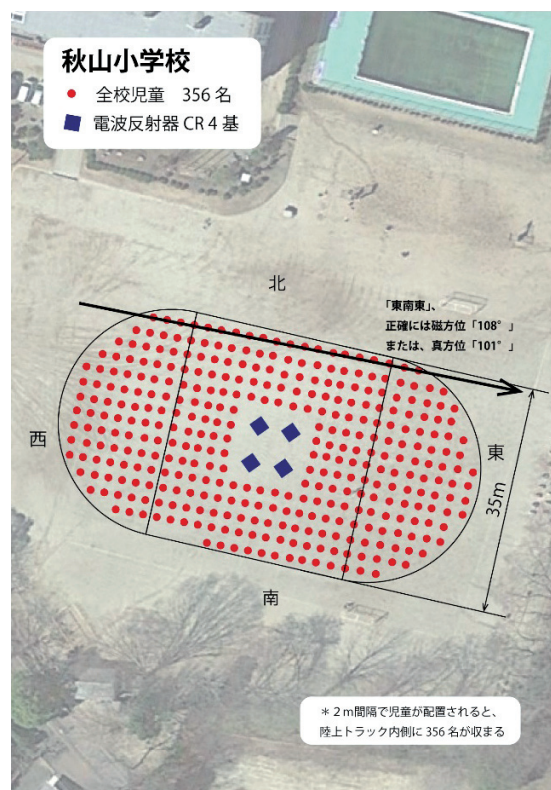
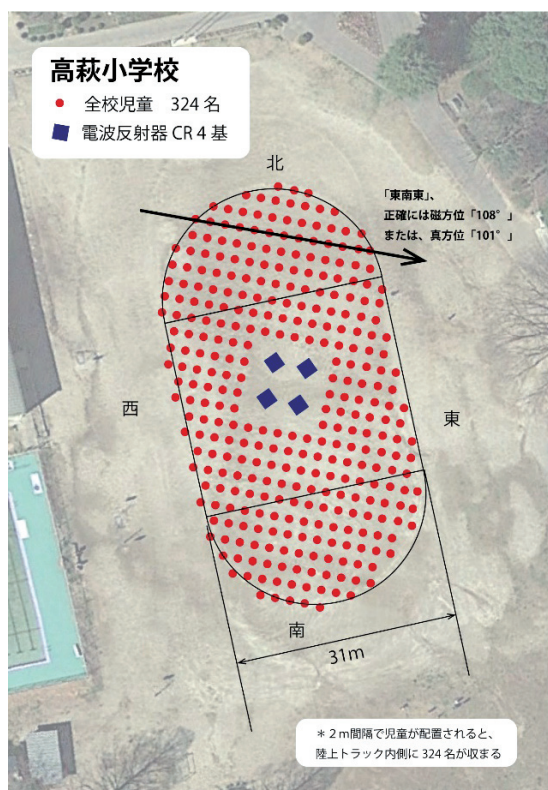
高萩市は2017年6月に「小学生を対象とした現代アート・ワークショップ」と題し、子どもたちの豊かな創造力、想像力及び思考力などを養いつつ将来の芸術家や観客層を育成する目的で「だいちの星座－たかはぎ座－」プロジェクトを企画した。鈴木らは高萩市内の全小学校4校全児童・教職員（松岡小学校6年生は修学旅行の為、撮影不参加）と協力してレクチャーとワークショップ（6月12日~13日に各校で実施）や人工衛星による撮影（6月15日に4校参加児童合計1,179名+職場体験中の地元中学校生徒たち）を実施した。高萩市内の全小学校（4校）の全児童が参加したレクチャーと、3~6年生を対象にワークショップが実施された。4校の校庭にそれぞれ教員によって引かれた白線を目印に児童らが整列し、片面にアルミ箔を貼った電波反射板を手に持ち、人工衛星の通過する方位に揃えて角度を固定した。現地撮影時刻には各小学校のグラウンドごとに大きな「星雲」を描くことに成功し「たかはぎ座」は完成した。なお、「たかはぎ座」では本活動では唯

一となる、全撮影箇所での「だいち2号」地上観測用電波の受信と、（校内放送等による）その音の実時間共有がなされ、聴覚を通して宇宙と地上を結ぶイメージを児童らに届けた。完成した作品「たかはぎ座」は愛知県立芸術大学芸術資料館にて2017年9月に展示された後、同年11月に高萩市体育館にて「たかはぎ座」の活動に参加した児童らに向けて公開された。



©Mizuho Ishii



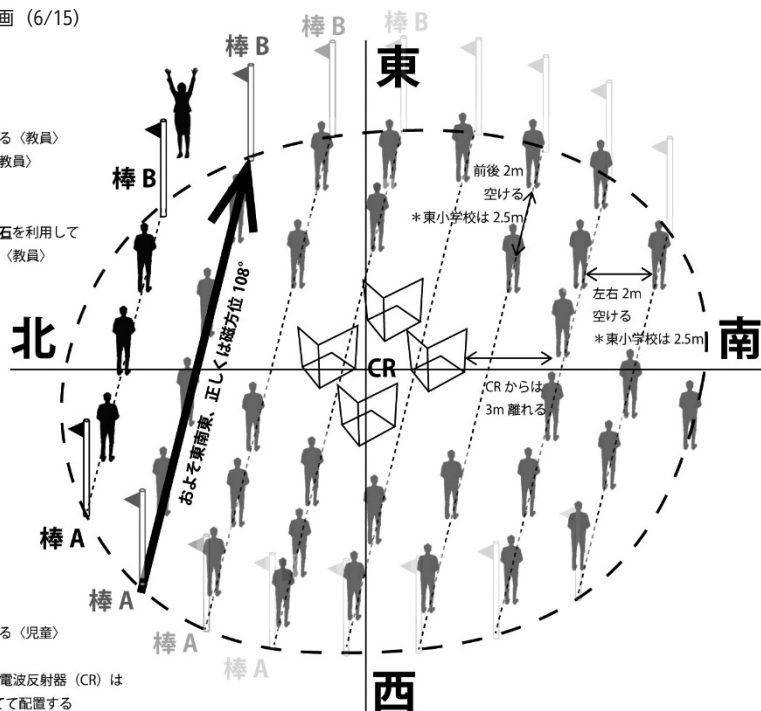


## 「たかはず座」のPR,CR、配置計画 (6/15)

10:30 ~ 11:45

1. 児童をグラウンドに集合させる〈教員〉
2. 別紙を参考に東南東方向に伸びる列を作る〈教員〉
3. 列に並んだ児童の前後を2mずつ離す〈教員〉  
\*ただし、東小学校は2.5mずつ離す
4. 列の後ろに棒Aを立て、  
その位置から各学校に配布された方位磁石を利用して  
「磁方位108°」の方向に棒Bを立てる。〈教員〉
5. 棒Bの後ろに教員が立ち、  
棒Aと棒Bを結んだ直線状に  
児童を並ばせる〈教員〉  
\*前日までに、  
予め線を引いても良い〈教員〉
6. 6/12,13のワークショップで  
アルミ箔を貼った四角い板の  
短い辺を地面につけ、  
アルミを貼った面を  
棒Bに向けさせる〈教員〉
7. 4~6は棒の数によって  
児童側に待ち時間が生じる
8. 当日11時42分~44分まで、  
児童は板を垂直に立て、  
板の方角や前後の傾きが生じないように  
出来るだけ動かさないように手で固定する〈児童〉

その他 中央に4つ配置予定の金網で出来た電波反射器 (CR) は  
「だいちの星座」スタッフが組み立てて配置する



## 電波反射器の作り方

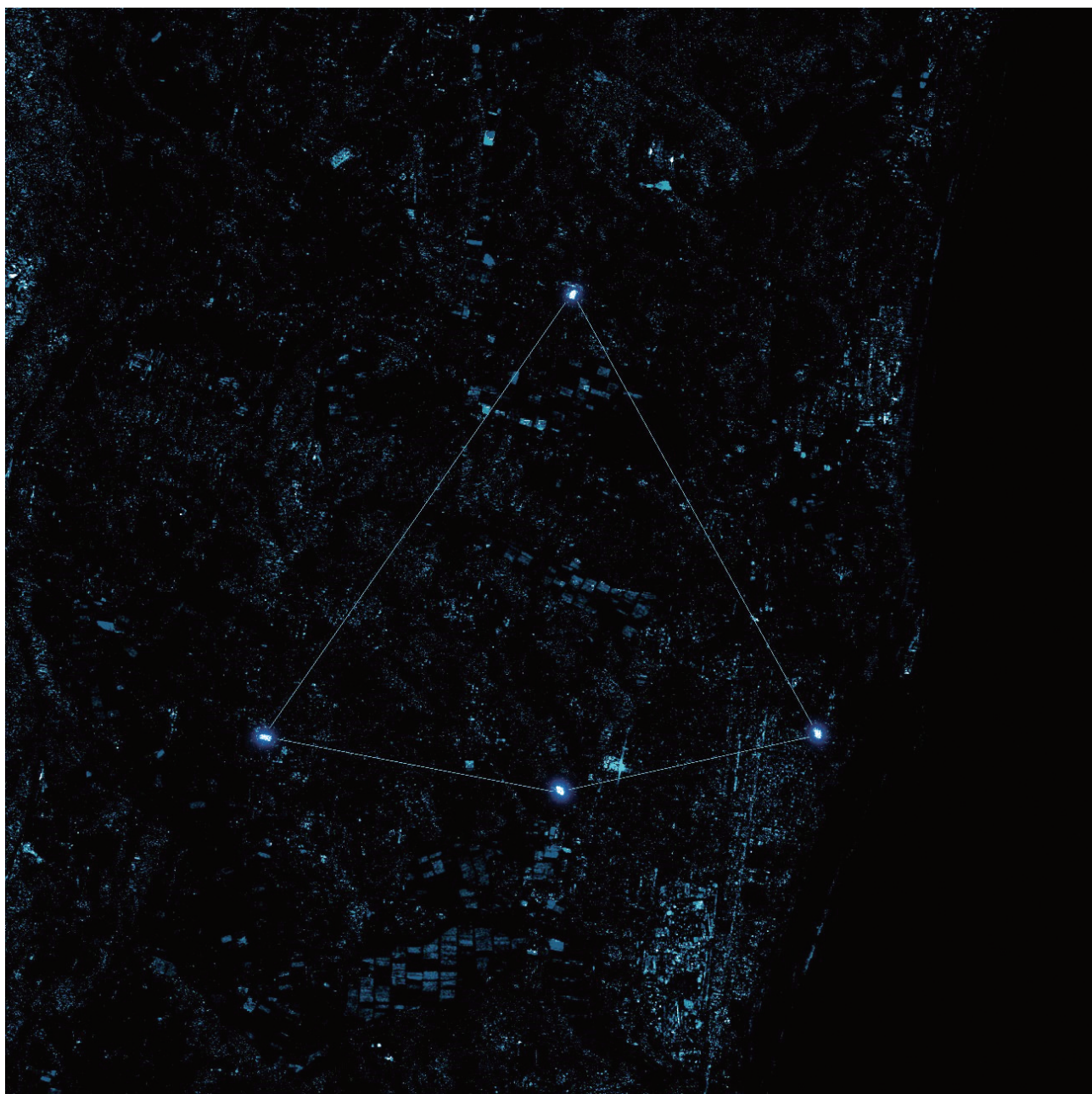


## 電波反射器を向ける方向



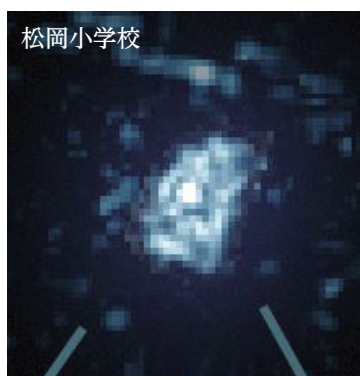
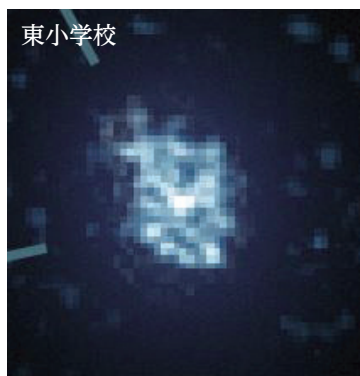
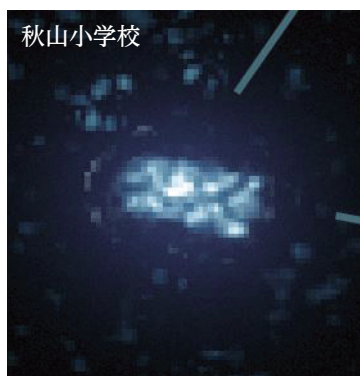
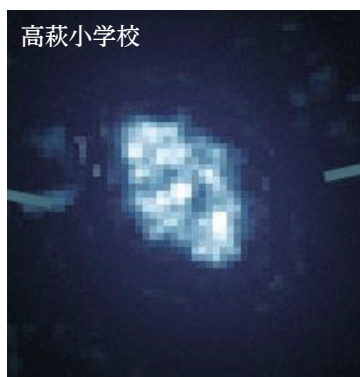
＜方角を決めるときの注意＞ スマートフォンのコンパス・アプリを使う時は、  
コンパスの設定が「真方位」の場合に電波反射器を101°の方角に向けて配置し、  
設定が「磁方位」の場合は電波反射器を108°の方角に向けて立ちます。





「だいちの星座 たかはぎ座」  
制作 2017年  
作者 鈴木浩之+大木真人

## 「だいちの星座 たかはぎ座」部分



## 分析

本活動では、電波を反射する道具として、木製の板の片面をアルミ箔で覆った電波反射板を製作した。電波反射板は任意の厚みで420×594mmすなわちA2判（一般的な国内の新聞紙1ページ）の大きさに等しく、その広い面にアルミ箔を貼り、地面に対して垂直に立てて使用した。電波反射面は現地撮影時刻に「だいち2号」が地上に向けて照射する電波と直角に接する方位に合わせて配置した。電波反射板は「たかはぎ座」の活動で初めて実際の芸術作品制作に用いられ、電波反射器を集中的に配置した小学校の校庭（4校）で、銀河のような楕円形の面を描くことに成功した。

校庭で電波反射板を構える児童らは、それぞれに板を地面に垂直に立てることや（アルミ箔を貼った面を）方位角100°に向けることに集中していた。しかしながら、電波反射板を構える2分ほどの時間常に姿勢を保つことは大人でも容易ではない。作品化された画像の各小学校の校庭を見ると、電波の反射が弱くなるポイントがあった。一方で、中央に配置した電波反射器の反射に匹敵するほどの高い反射を得られたポイントも認められ、全4校のいずれの会場でも全体的に校庭の陸上トラックを基準とした大きな楕円の内側を〈面〉として描画することに成功したといえる。本研究により、人工衛星を利用して地上絵を制作する上で効率的に面を描く機能を確認することが出来、電波反射板と人工衛星を利用した地上絵制作において、点と面を組み合わせた描画が可能であることを明らかにした。

## 結論

「たかはぎ座」で実証された電波反射板は、これまで開発を進めてきた電波反射器に比べ、器具製作の負担を減らすと共に、参加者一人ひとりが電波反射を体験した実感が得やすいツールである。「たかはぎ座」の活動では各校が学校全体で取り組む活動として全校児童が参加し、通常であれば授業の行わ



れる平日の授業時間帯に行われた点でそれまでの「だいちの星座」とは異なる〈教育との深まり〉を示した。〈芸術作品制作が創造や想像、思考の力を養う〉、という機能が教育の現場で再確認されるとともに、本活動が小学校教育と自治体、協賛企業、さらには大学（茨城大学、筑波大学、金沢美術工芸大学に在籍する学生有志）や研究機関（JAXA）をひとつの目的に向かって繋げることに成功した。各校では、校長をはじめ教職員の協力の下で児童らの年齢などを考慮し無理なく参加できる体制が考案された。その結果、電波反射板の製作や各校グラウンドでの整列、電波反射板の方位角調整などが首尾よく進められた。芸術・科学の学びを内包する本活動を高萩市と一体となって進められたことで、「だいちの星座」の教育的な側面が理想的に表れた。

研究により、人工衛星を利用した地上絵制作において電波反射板の利用が可能となることで、幅広い年齢層と多くの参加者の参加がより容易になる共に、多くの〈点〉が同時に配置しやすくなり、電波反射を利用した地上絵が〈面〉を描く表現技術へと展開する可能性を示した。

## 註

- 1 南條史生、茨城県北芸術祭実行委員会『KENPOKU ART 2016 茨城県北芸術祭』、株式会社 生活の友社、2016年、p.164, 194, 209
- 2 坂根巖夫『メディア・アート創世記 科学と芸術の出会い』、工作舎、2010年、pp.311-312
- 3 鈴木浩之『Kanazawa Satellite Art Project 2010 人工衛星を利用した地上絵制作プロジェクト』、金沢美術工芸大学、2011年、pp.19-22
- 4 鈴木浩之「地球観測衛星を利用した市民参加型地上絵制作プログラムの開発に関する研究」、『金沢美術工芸大学紀要』第60号、2016年、pp.33-58 / 大木真人、鈴木浩之「芸術の表現手法を拡大するALOS2 / だいちの星座プロジェクトの展開」、『日本リモートセンシング学会』第36号（No. 4/2016）、2016年、pp.367-372

## 謝辞

研究にご協力いただきました方々に深く感謝申し上げます。

高萩市、大建工業株式会社、東洋アルミエコープロダクツ株式会社、東洋アルミニウム株式会社

## 附記

本研究は平成26～28年度JSPS科研費（課題番号16K02318）の助成を受けたものである。

（すずき・ひろし 油画専攻／メディアアート）

（おおき・まさと

宇宙航空研究開発機構／リモートセンシング）

（2017年11月7日 受理）

