

5

南極氷床

Antarctic Ice Sheet



榎本 浩之
北見工業大学土木開発工学科

Sylviane Surdyk
国立極地研究所

Hiroyuki Enomoto
Department of Civil Engineering,
Kitami Institute of Technology

Sylviane Surdyk
National Institute of
Polar Research

5.1 未知の大陸の厳しい環境と衛星観測によるアプローチ

Severe Environment of “Uncharted” Continent Necessitates Satellite Observation

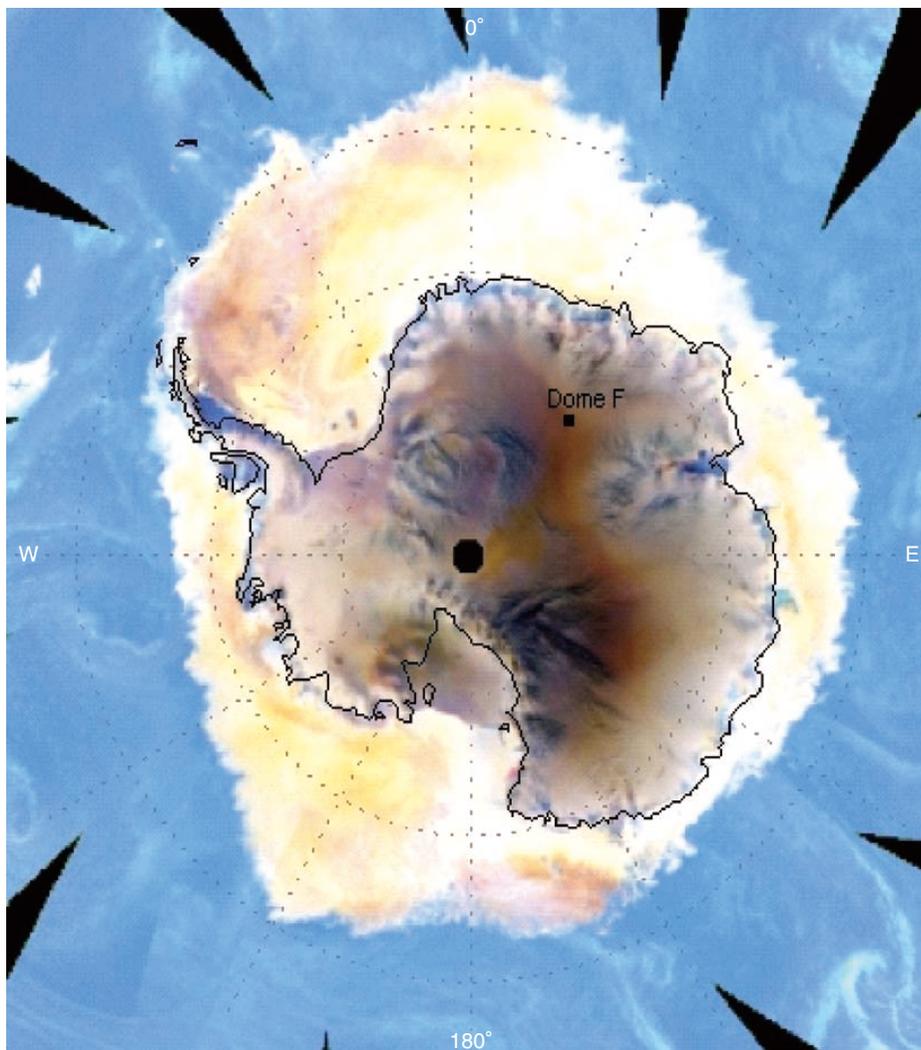


図 5.1.1 2003年7月27日のAMSR 3ch合成画像 (89GHz、18GHz、10GHz)
Fig. 5.1.1 Composite AMSR image from July 27, 2003 using 89, 18, and 10GHz channels

AMSRの3ch合成画像 (89GHz、18GHz、10GHz) により、南極大陸とその周囲の海水の様子を観測することが出来ます。南極大陸内陸部は標高3000mを超える高原となっていて、冬期には -80°C に及ぶ低温の領域となっています。冬期は、日射もなくしばしばブリザードに襲われる観測者を寄せ付けない雪と氷の世界です。東南極の氷床のドーム頂上部のひとつであるドームFでは、日本の観測拠点が設けられ、氷床と気候の関係を調べる調査が実施されていますが、悪条件でも広範囲に観測を拡大できる手法が求められています。

氷床の縁辺部には棚氷と呼ばれる海上に張り出した氷河が広く存在しています。この沿岸部は南極氷床の涵養・消耗の機構にとって大きな影響があります。この棚氷の崩壊による南極氷床からの氷の流出は、南極大陸の雪氷量の安定性を考える上で重要な観測対象となっています。AMSRの6GHz、10GHzのマイクロ波観測では、低い輝度温度の地域となって現れており、全天候での監視が可能です。

A composite AMSR image of 89, 18 and 10GHz displays the Antarctic snow and ice distribution. Antarctica has an inland plateau area with an elevation over 3,000m a.s.l. and a very cold climate with temperatures as low as -80°C . In winter, this area is closed to frequent observation due to darkness, strong winds, and blowing snow. On a peak of an Antarctic dome, Dome Fuji, Japan maintains an observation site but seeks more observation techniques to combat the severe conditions described above.

Shelf ice forms the coastal ice margin, and its fluctuations are an important factor in the changing ice mass outlet from Antarctica. Microwave observation by AMSR 6 and 10GHz channels will focus on these regions in all weather conditions since this area appears as a low brightness temperature (T_b) area.

5.2 南極の雪氷からのマイクロ波シグナル

Microwave Signals from the Antarctic Snow and Ice

南極大陸内陸部における年間の気温の推移とマイクロ波データの比較を示します。図5.2.1はドームFにおけるAMSR-Eの6つのチャンネルの輝度温度と自動気象観測装置による2003年の年間の気温データの比較を示しています。

気温データを見ると、4月から9月にかけて、最低気温の時期が顕著にならない、いわゆる‘coreless winter’のパターンが見られます。南極の気温変化の特徴であるこのパターンは、年周期と半年周期のサイクルが重なって生じています。輝度温度は気温変動に応答していますが、周波数が低くなるにつれて振幅は小さくなり、応答時間も遅れてきます。位相の遅れは、89GHzではほとんど見られませんが、36.5GHzで15日、23.8GHzで24日、18.7GHzで28日となっていて、6.295GHzと10.65GHzでは30日以上になっています。位相の遅れは積雪中の熱伝導とマイクロ波特性によって決まります。マイクロ波により浸透する深さが異なるため、位相の遅れが異なってきます。

Comparing the annual (2003) pattern of air temperatures from the Automatic Weather Station (AWS) and six AMSR-E Tb at Dome Fuji, the air temperature indicates a very clear “coreless winter” pattern of no clear winter minimum from April to September. This particular pattern is due to the combination of the semi-annual and annual oscillations. All the Tb follow the seasonal trend found in the AWS, although the amplitudes decrease and delays of the maxima increase with decreasing frequency. This phase delay is nearly non-existent at 89GHz; approximately 15 days at 36.5GHz; 24 days at 23.8GHz; and 28 days at 18.7GHz. The delays for 6.925GHz and 10.65GHz are greater than 30 days. The phase delay depends on thermal diffusivity and the microwave properties of the snow. The phase delay differs among frequencies due to the differing penetration depths of the microwave signal.

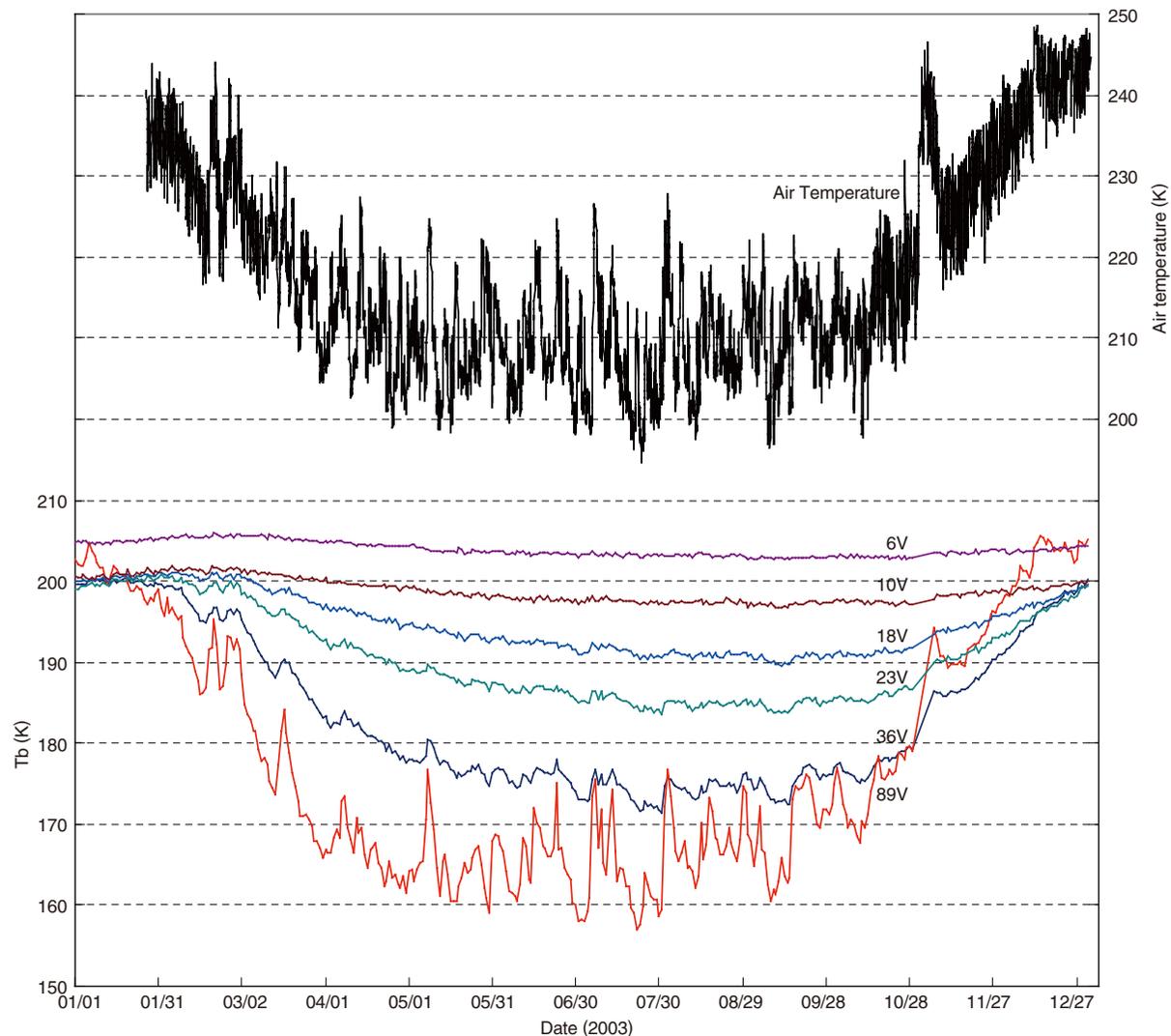


図 5.2.1 ドームFの気温とAMSR-E輝度温度
Fig. 5.2.1 Air temperature and AMSR-E Tb at Dome Fuji



表 5.2.1 AMSRチャンネルの南極積雪域での浸透深さ
Table 5.2.1 Penetration depth of AMSR channels in Antarctic snow

周波数チャンネル Frequency Channels (GHz)	6.925	10.65	18.7	23.8	36.5	89
浸透深さタイプ1 Penetration depth Type1	42.	8.0	1.2	0.55	0.15	0.03
浸透深さタイプ2 Penetration depth Type2	34.	11.5	3.3	2.50	0.90	0.20

表5.2.1は、AMSRの6つのチャンネルの浸透深さについて示しています。南極氷床の乾雪のマイクロ波浸透深さは周波数に依存しますが、さらに雪温、結晶粒径、密度、層構造にも影響を受けます。周波数が高いと、浸透深さは小さくなります。10GHz以下の周波数では、浸透深さは雪温と層構造によって大きく左右されます。20GHz以上の周波数では結晶粒径の影響が最も強いですが、密度と温度にも影響を受けます。ここでは2つの雪質を想定しました。雪タイプ1は、内陸部の低温で降雪の少ない地域の雪で、低温(-60°C)で粗い粒子、低密度、低涵養速度でのものです。雪タイプ2は沿岸の比較的温暖で降雪も多いところで、温度(-20°C)、細かな粒子、低密度、高涵養速度を想定しています。この場合、6GHzを除いて沿岸部の雪タイプ2の浸透深さが大きくなります。

Table 5.2.1 presents penetration depth ranges on six AMSR frequency channels, and penetration depth for two types of snow, assuming observation at a 50 degree incidence angle. Penetration depth over the ice sheet (dry snow) depends on the frequency, but also on the snow's temperature, density, layering, and crystal size and type. As the frequency increases, penetration depth decreases. For penetration depth below 10GHz, the snow cover temperature and layering are determinant factors. Above 20GHz, crystal size has the greatest influence, although density and temperature also have an effect. In the following example, snow type 1 is a cold (-60°C) snow cover with coarse grain, low density, and low accumulation rate. Snow type 2 is a warmer (-20°C) snow cover with fine grain, low density, and high accumulation rate. Penetration depths are greater for snow type 2 than for snow type 1 except at 6.925GHz, where the snow temperature was the determinant factor.

5.3 気候と南極氷床：変動の兆しをとらえる

Climate and the Antarctic Ice Sheet : Detecting Signs of Change

南極大陸沿岸部では近年温度上昇を記録しているところがあります。また、棚氷が崩壊している例も報告されています。低周波のマイクロ波チャンネルはそれらの観測に使うことができます。6、10GHzは、近年気候変動と氷床変動の観点から、不安定化が問題となっている棚氷のモニターにも利用されます。図5.3.1の枠の中は棚氷域を示しています。棚氷の雪氷からの特有のマイクロ波放射を観測していることがわかり、棚氷の監視が可能です。

南極大陸の周囲では海氷変動によるマイクロ波放射の変化が見られます。南極大陸上では、10m深の積雪温度が年間平均気温に近く、年中ほぼ一定の値を示しますが、AMSRの6GHzのデータはこの積雪層深部からの放射を捉えており、ほぼ年間平均気温の分布に対応したパターンを示しています。標高の高い東南極では年間平均気温が低くなっています。棚氷と平均気温の観測により、南極氷床の変動の兆しを見張ることが出来ます。

In some areas of the Antarctic, where recorded temperatures have risen and shelf ice has collapsed, observation data are available from low frequency channels of AMSR. AMSR 6GHz and 10GHz channels focus on the shelf ice area, where instabilities are of great concern in the relationship between climate and ice sheet.

There is great change in T_b in the surrounding oceans as the sea ice changes, but little change over the ice sheet. This is because the 6GHz signal indicates the temperature from the deep snow layer where the annual mean air temperature of the site can be determined. It remains low in the inland areas.

By observing the shelf ice and mean temperature, sensors can monitor the signs of change in ice sheet conditions.

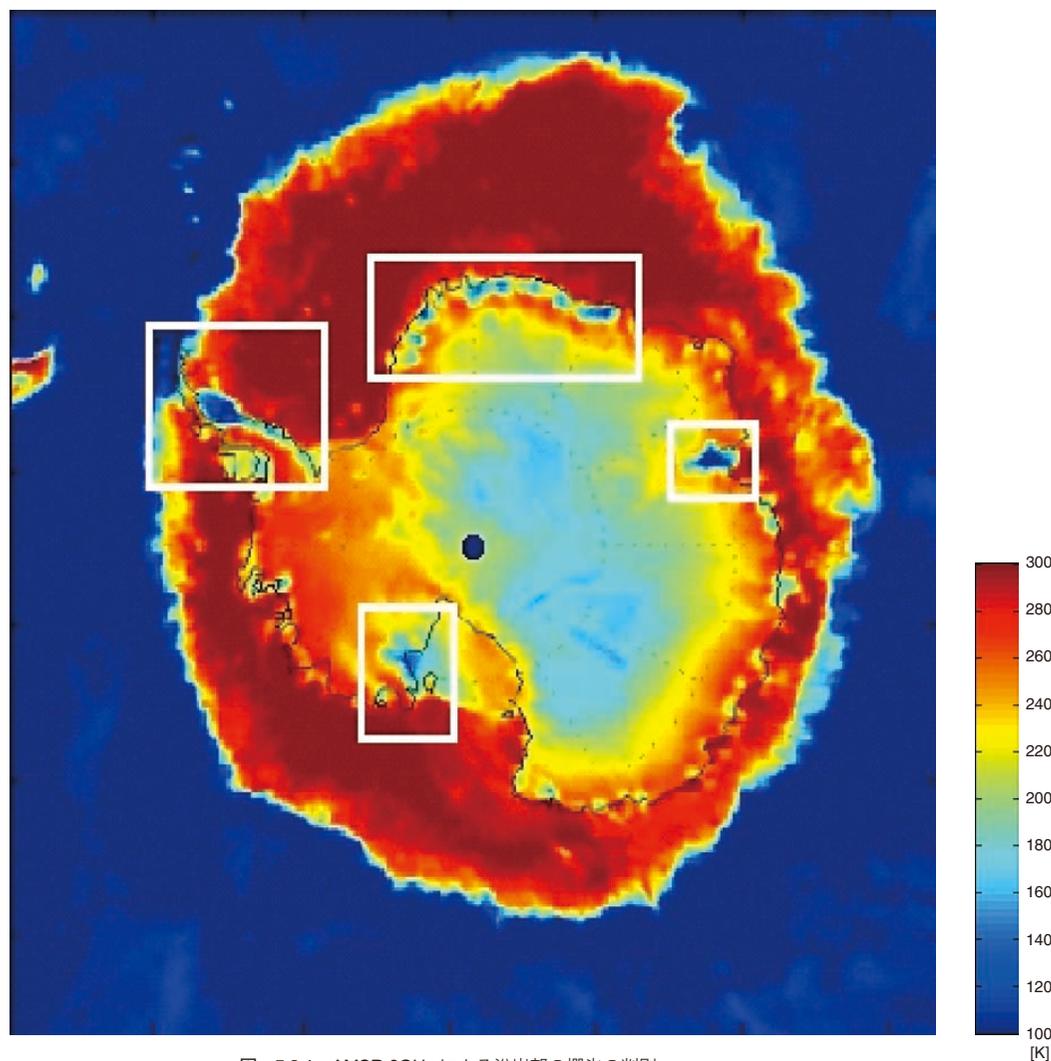


図 5.3.1 AMSR 6GHz による沿岸部の棚氷の判別
内陸域では平均気温を反映したパターンとなる。

Fig. 5.3.1 AMSR 6GHz indicating shelf ice along the coast
 T_b reflects the annual mean temperature pattern inland.

5.4 南極氷床と大気循環：急上昇する氷床温度

Ice Sheet and Atmosphere : Sudden Rise in Ice Sheet Temperature

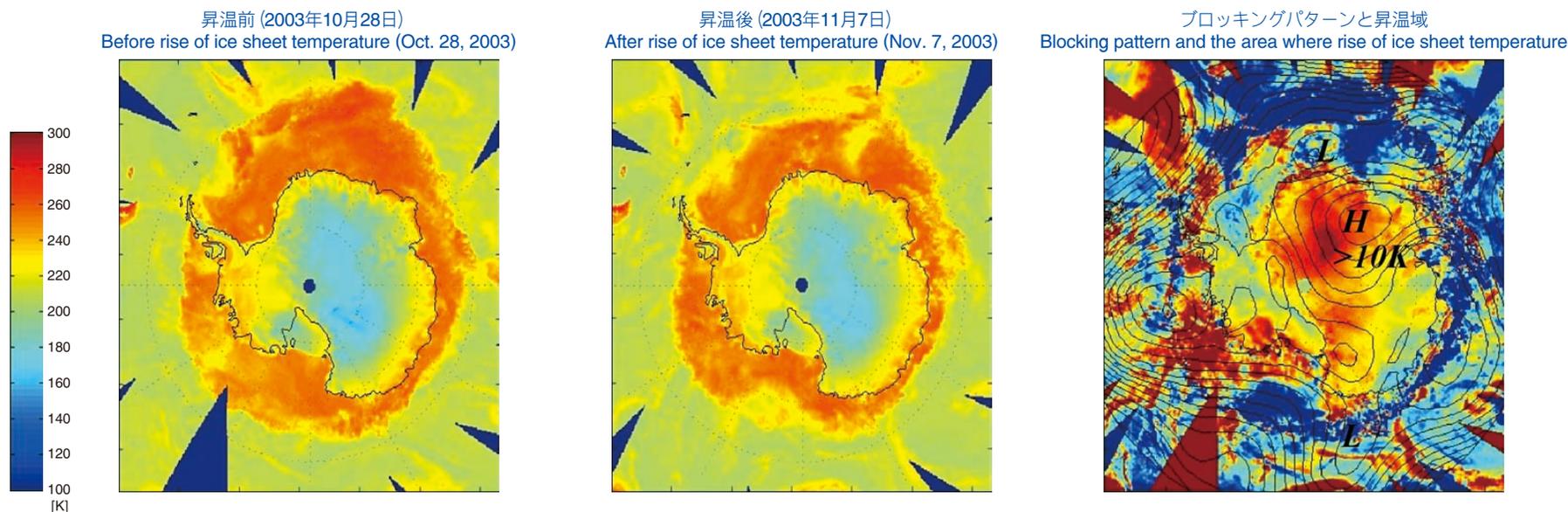


図 5.4.1 南極大陸上での急な昇温の検知 (AMSR-E 36GHz)
Fig. 5.4.1 Detection of sudden rise in ice sheet temperature (AMSR-E 36GHz)

南極大陸内陸部ではしばしば急な昇温が観測されます。図5.4.1の左図と中央図は昇温以前の2003年10月28日と昇温後の11月7日の輝度分布を比較したものです。内陸部の低温域の消失を見ることが出来ます。数日間で30°Cにも及ぶ顕著な気温上昇に伴い、積雪表層が暖められ、氷床表層からのマイクロ波放射が増加したためです。雲の影響を受けずに氷床表面の温度の観測が可能なマイクロ波観測が有効になります。

右の図は昇温域と500hPa面高度場の合成図です。南極氷床上空に現れたブロッキングによる高圧場により、暖気が流入する様子が見いだせます。普段は極渦によって低圧場になっていた南極内陸部上空の大気ですが、このような現象により大気との交換がおり、暖気や水蒸気が氷上に運ばれ、氷床温度や氷床上の降雪に影響します。南極の温度と積雪を考える上で大切な現象と考えられます。

AMSRの観測周波数の違いにより、積雪表層～深層の温度構造が推定され、短期変動である昇温現象や、長期の状態を反映した年平均気温などのシグナルを取り出すことが出来ます。これらのマイクロ波による南極氷床観測により、地上観測の空白域における環境観測が進められます。

An abrupt rise of air temperature has been recorded in Antarctica. The left and center figures illustrate the 36GHz Tb patterns on October 28 and November 7, 2003. The inland cold area was diminished. A sudden temperature rise of 30°C in a few days heated the surface snow layer, increasing the microwave emission. Microwave sensors can observe the ice-sheet temperature, as it is not affected by clouds.

The composite map with a 500hPa height chart (right) displays the associated blocking pattern over Antarctica. The pressure field is usually low because the polar vortex is located over the Antarctic. However, in the blocking pattern, the circulation brings heat and moisture over the ice sheet. This phenomenon significantly influences temperature and snow accumulation on the ice sheet.

Using multiple-frequency observations with AMSR, we see thermal fluctuations between surface and deep snow layers on the ice sheet, and then a short-term temperature rise and a long-term temperature trend. Through microwave observation of the ice sheet, we can detect the environment of this “uncharted” continent.