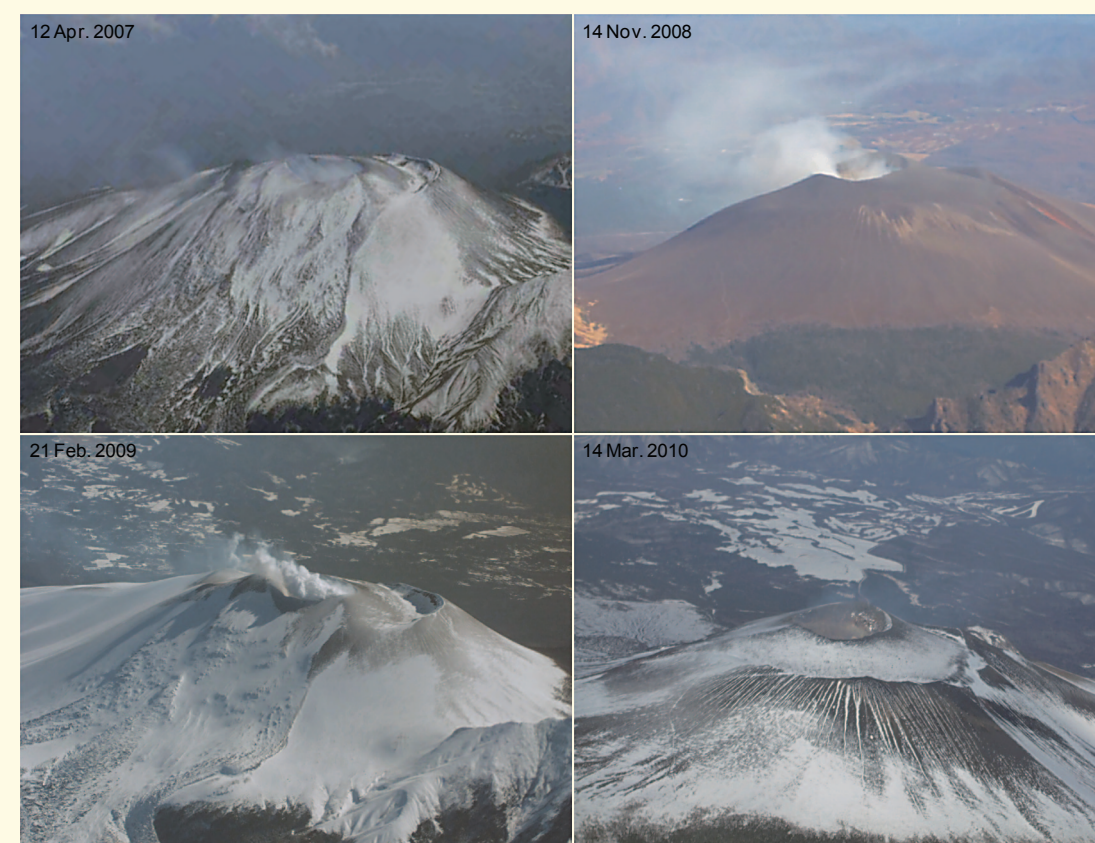


ARTS により計測した浅間山の火口内温度分布 -(2007年4月から2010年3月)-

Brightness Temperature Distributions in Asama Volcano Crater Acquired Using ARTS (Apr. 2007 to Mar. 2010)



防災科学技術研究所研究資料

- 第 282 号 高山・大原断層帯の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討 (CD-ROM). 2005 年 11 月発行
- 第 283 号 石狩低地東縁断層帯の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討 (CD-ROM). 2005 年 12 月発行
- 第 284 号 地震ハザードステーション J-SHIS DVD 2005 年版 (DVD). 2005 年 12 月発行
- 第 285 号 地すべり地形分布図 第 26 集「浜田・大社」17 葉 (5 万分の 1). 2006 年 1 月発行
- 第 286 号 地すべり地形分布図 第 27 集「広島」 16 葉 (5 万分の 1). 2006 年 2 月発行
- 第 287 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 19 (平成 17 年 No. 1) (CD-ROM). 2006 年 3 月発行
- 第 288 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 20 (平成 17 年 No. 2) (CD-ROM). 2006 年 3 月発行
- 第 289 号 新庄における気象と降積雪の観測 (2004 / 05 年冬期) 41pp. 2006 年 3 月発行
- 第 290 号 地すべり地形分布図 第 28 集「山口」21 葉 (5 万分の 1). 2006 年 3 月発行
- 第 291 号 地すべり地形分布図 第 29 集「岡山及丸亀」15 葉 (5 万分の 1). 2006 年 3 月発行
- 第 292 号 日本の火山ハザードマップ集 (付録 DVD2 枚) 20pp. 2006 年 3 月発行
- 第 293 号 水害に対する住民の防災意識と防災行動等に関するアンケート調査資料集 (CD-ROM). 2006 年 3 月発行
- 第 294 号 山崎断層帯の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討 (CD-ROM). 2006 年 3 月発行
- 第 295 号 中央構造線断層帯 (金剛山地東縁・和泉山脈南縁) の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討 (CD-ROM). 2006 年 3 月発行
- 第 296 号 日向灘の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討 (CD-ROM). 2006 年 3 月発行
- 第 297 号 地すべり地形分布図 第 30 集「徳島・剣山」23 葉 (5 万分の 1). 2006 年 9 月発行
- 第 298 号 神奈川県西部山北南高感度地震観測井の掘削および坑内検層 32pp. 2006 年 10 月発行
- 第 299 号 地すべり地形分布図 第 31 集「高知・窪川」17 葉 (5 万分の 1). 2007 年 3 月発行
- 第 300 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 21 (平成 18 年 No. 1) (CD-ROM). 2007 年 3 月発行
- 第 301 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 22 (平成 18 年 No. 2) (CD-ROM). 2007 年 3 月発行
- 第 302 号 長岡における積雪観測資料 (30) (2005. 11 ~ 2006. 3) 37pp. 2007 年 3 月発行
- 第 303 号 2003 年十勝沖地震の観測記録を用いた強震動予測手法の検証 (CD-ROM 版). 2007 年 3 月発行
- 第 304 号 アジア・太平洋国際地震・火山観測網構築計画に関する事前調査 96pp. 2007 年 3 月発行
- 第 305 号 新庄における気象と降積雪の観測 (2005/06 年冬期) 45pp. 2007 年 3 月発行
- 第 306 号 地震荷重を受ける減肉配管の破壊過程解明に関する研究報告書 78pp. 2007 年 3 月発行
- 第 307 号 根尾谷断層水鳥地区における深層ボーリング調査と地殻応力測定 (付録 CD-ROM) 33pp. 2007 年 8 月発行
- 第 308 号 地すべり地形分布図 第 32 集「松山・宇和島」26 葉 (5 万分の 1). 2007 年 9 月発行
- 第 309 号 地すべり地形分布図 第 33 集「大分」18 葉 (5 万分の 1). 2007 年 11 月発行
- 第 310 号 Geological and Logging Data of the NIED wells, Japan -Active fault, Seismogenic zone, Hingeline – 29pp. 2008 年 3 月発行
- 第 311 号 新庄における気象と降積雪の観測 (2006/07 年冬期) 35pp. 2007 年 11 月発行
- 第 312 号 地すべり地形分布図 第 34 集「延岡・宮崎」19 葉 (5 万分の 1). 2008 年 3 月発行
- 第 313 号 微動探査観測ツールの開発 その 1 – 常時微動解析ツール (付録 CD-ROM) 133pp. 2008 年 3 月発行
- 第 314 号 距離減衰式による地震動予測ツールの開発 (付録 CD-ROM) 66pp. 2008 年 3 月発行
- 第 315 号 地すべり地形分布図 第 35 集「八代」18 葉 (5 万分の 1). 2008 年 3 月発行
- 第 316 号 地すべり地形分布図 第 36 集「熊本」15 葉 (5 万分の 1). 2008 年 3 月発行
- 第 317 号 2004 年新潟県中越地震による斜面変動分布図 (付録 CD-ROM) 37pp. 2008 年 3 月発行
- 第 318 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 23 (平成 19 年 No. 1) (CD-ROM 版). 2008 年 3 月発行
- 第 319 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 24 (平成 19 年 No. 2) (CD-ROM 版). 2008 年 3 月発行
- 第 320 号 平成 17 年度大都市大震災軽減化特別プロジェクトⅡ 木造建物実験 - 震動台活用による建造物の耐震性向上研究 - (付録 CD-ROM) 152pp. 2008 年 3 月発行
- 第 321 号 平成 17 年度大都市大震災軽減化特別プロジェクト 実大 6 層 RC 建物実験報告書 (付録 CD-ROM) 46pp. 2008 年 3 月発行
- 第 322 号 地すべり地形分布図 第 37 集「福岡・中津」24 葉 (5 万分の 1). 2008 年 8 月発行
- 第 323 号 地すべり地形分布図 第 38 集「長崎・唐津」29 葉 (5 万分の 1). 2008 年 9 月発行
- 第 324 号 地すべり地形分布図 第 39 集「鹿児島」24 葉 (5 万分の 1). 2008 年 11 月発行
- 第 325 号 地すべり地形分布図 第 40 集「一関・石巻」19 葉 (5 万分の 1). 2009 年 2 月発行
- 第 326 号 新庄における気象と降積雪の観測 (2007/08 年冬期) 33pp. 2008 年 12 月発行
- 第 327 号 防災科学技術研究所 45 年のあゆみ (付録 DVD) 224pp. 2009 年 3 月発行

防災科学技術研究所研究資料

- 第 328 号 地すべり地形分布図 第 41 集「盛岡」18 葉 (5 万分の 1). 2009 年 3 月発行
- 第 329 号 地すべり地形分布図 第 42 集「野辺地・八戸」24 葉 (5 万分の 1). 2009 年 3 月発行
- 第 330 号 地域リスクとローカルガバナンスに関する調査報告 53pp. 2009 年 3 月発行
- 第 331 号 E-Defense を用いた実大 RC 橋脚 (C1-1 橋脚) 震動破壊実験研究報告書 -1970 年代に建設された基部曲げ破壊タイプの RC 橋脚震動台実験 - (付録 DVD) 107pp. 2009 年 1 月発行
- 第 332 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 25 (平成 20 年 No. 1) (CD-ROM 版). 2009 年 3 月発行
- 第 333 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 26 (平成 20 年 No. 2) (CD-ROM 版). 2009 年 3 月発行
- 第 334 号 平成 17 年度大都市大震災軽減化特別プロジェクトⅡ 地盤基礎実験 - 震動台活用による建造物の耐震性向上研究 - (付録 CD-ROM) 62pp. 2009 年 10 月発行
- 第 335 号 地すべり地形分布図 第 43 集「函館」14 葉 (5 万分の 1). 2009 年 12 月発行
- 第 336 号 全国地震動予測地図作成手法の検討 (7 分冊+ CD-ROM 版). 2009 年 11 月発行
- 第 337 号 強震動評価のための全国深部地盤構造モデル作成手法の検討 (付録 DVD). 2009 年 12 月発行
- 第 338 号 地すべり地形分布図 第 44 集「室蘭・久遠」21 葉 (5 万分の 1). 2010 年 3 月発行
- 第 339 号 地すべり地形分布図 第 45 集「岩内」14 葉 (5 万分の 1). 2010 年 3 月発行
- 第 340 号 新庄における気象と降積雪の観測 (2008/09 年冬期) 33pp. 2010 年 3 月発行
- 第 341 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 27 (平成 21 年 No. 1) (CD-ROM 版). 2010 年 3 月発行
- 第 342 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 28 (平成 21 年 No. 2) (CD-ROM 版). 2010 年 3 月発行
- 第 343 号 阿寺断層系における深層ボーリング調査の概要と岩石物性試験結果 (付録 CD-ROM) 15pp. 2010 年 3 月発行
- 第 344 号 地すべり地形分布図 第 46 集「札幌・苫小牧」19 葉 (5 万分の 1). 2010 年 7 月発行
- 第 345 号 地すべり地形分布図 第 47 集「夕張岳」16 葉 (5 万分の 1). 2010 年 8 月発行
- 第 346 号 長岡における積雪観測資料 (31) (2006/07, 2007/08, 2008/09 冬期) 47pp. 2010 年 9 月発行
- 第 347 号 地すべり地形分布図 第 48 集「羽幌・留萌」17 葉 (5 万分の 1). 2010 年 11 月発行
- 第 348 号 平成 18 年度 大都市大震災軽減化特別プロジェクト実大 3 層 RC 建物実験報告書 (付録 DVD) 68pp. 2010 年 8 月発行
- 第 349 号 防災科学技術研究所による深層掘削調査の概要と岩石物性試験結果 (足尾・新宮・牛伏寺) (付録 CD-ROM) 12pp. 2010 年 8 月発行
- 第 350 号 アジア防災科学技術情報基盤 (DRH-Asia) コンテンツ集 266pp. 2010 年 12 月発行
- 第 351 号 新庄における気象と降積雪の観測 (2009/10 年冬期) 31pp. 2010 年 12 月発行
- 第 352 号 平成 18 年度 大都市大震災軽減化特別プロジェクトⅡ 木造建物実験 - 震動台活用による建造物の耐震性向上研究 - 120pp. 2011 年 1 月発行
- 第 353 号 地形・地盤分類および常時微動の H/V スペクトル比を用いた 地震動のスペクトル増幅率の推定 242pp. 2011 年 1 月発行
- 第 354 号 地震動予測地図作成ツールの開発 150pp. 2011 年 2 月発行予定

<p>編 集 委 員 会</p> <p>(委員長) 眞木雅之</p> <p>(委 員)</p> <p>武田哲也 小澤 拓</p> <p>佐藤正義 中井専人</p> <p>中村いずみ 関口宏二</p> <p>(事務局) 自然災害情報室</p> <p>井口 隆 鈴木比奈子</p> <p>樋山信子</p>	<p>防災科学技術研究所研究資料 第 355 号</p> <p>平成 23 年 1 月 31 日 発行</p> <p>編集兼 独立行政法人</p> <p>発行者 防 災 科 学 技 術 研 究 所</p> <p>〒 305-0006</p> <p>茨城県つくば市天王台 3 – 1</p> <p>電話 (029)863-7635</p> <p>http://www.bosai.go.jp/</p> <p>印刷所 松 枝 印 刷 株 式 会 社</p> <p>茨城県常総市水海道天満町 2438</p>
---	---

© National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention 2011

※防災科学技術研究所の刊行物については、ホームページ (<http://www.bosai.go.jp/library/publication.htm>) をご覧下さい。

■表紙写真・・・ARTS 搭載機よりデジタルカメラで撮影した観測当日の浅間山の様子。左上：2007 年 4 月 12 日。右上：2008 年 11 月 14 日。左下：2009 年 2 月 21 日。右下：2010 年 3 月 14 日。撮影：中日本航空株式会社。

ARTSにより計測した浅間山の火口内温度分布

— (2007年4月から2010年3月) —

實測哲也*

Brightness Temperature Distributions in Asama Volcano Crater Acquired Using ARTS (Apr. 2007 to Mar. 2010)

Tetsuya JITSUFUCHI

*Volcano Research Department, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
jitu@bosai.go.jp*

Abstract

Brightness temperature distributions in Asama Volcano were acquired by using airborne hyperspectral scanners (ARTS). Airborne observations carried out on 12 April 2007, 14 November 2008, 21 February 2009, and 14 March 2010 detected geothermal activity inside the Asama Volcano crater. They also revealed a significant temporal change of geothermal activity in the Asama Volcano crater before and after the February 2009 eruption. This report describes the brightness temperature images, visible images, and thermal flux of the Asama Volcano crater that document the period before, during, and after the February 2009 eruption.

Key words: Brightness Temperature Distribution, Infrared Image, Asama Volcano, Airborne Remote Sensing, Hyperspectral Scanner

1. はじめに

防災科学技術研究所(防災科研)では、火山の熱的な活動状況の把握のために、当所の航空機搭載型放射伝達スペクトルスキャナ(ARTS)による、火口内の温度分布観測を実施している(實測, 2008)¹⁾。この観測では、他の観測手法では取得が困難な、面的に同時で、空間分解能1~5 m程度の詳細な温度分布画像データが得られ、地熱域の分布形状の定量的把握や高精度の最高温度推定等が行える。また、この観測を、対象火山の活動に応じ、適宜、実施することで、火山の熱的活動状態の経時的変化も把握可能になる。

本稿では、防災科研が、ARTSにより、2007年4月12日、2008年11月14日、2009年2月21日、2010年3月14日に実施した浅間山の火口内温度分布観測結果について報告する。

2. 観測概要

以下に、観測に使用したARTSと浅間山観測の概要を示す。

2.1 ARTSについて

ARTS (Airborne Radiative Transfer Spectral Scanner : 航空機搭載型放射伝達スペクトルスキャナ) は、防災科研が、2006年に完成させた、高波長分解能・高空間分解能を有する火山観測用航空機搭載型光学センサである¹⁾。図1にARTSによるデータ取得の概念図を示す。また、表1にARTSのセンサヘッドユニット(SHU)の主な諸元を示す。航空機に搭載されたARTSは、1回の観測で、可視光線から赤外線にわたる光のエネルギーを3台のSHU(可視近赤外域(VNIR)SHU, 近赤外域(SWIR)SHU, 赤外域(LWIR)SHU)により最大421の異なる観測バンド(スペクトル領域)で計測し、バンドごとのスペクトル画像を取得する。これらのスペクトル画像から、火山の表面温度、噴煙、火砕流等の状況を推定できる。

* 独立行政法人 防災科学技術研究所 火山防災研究部

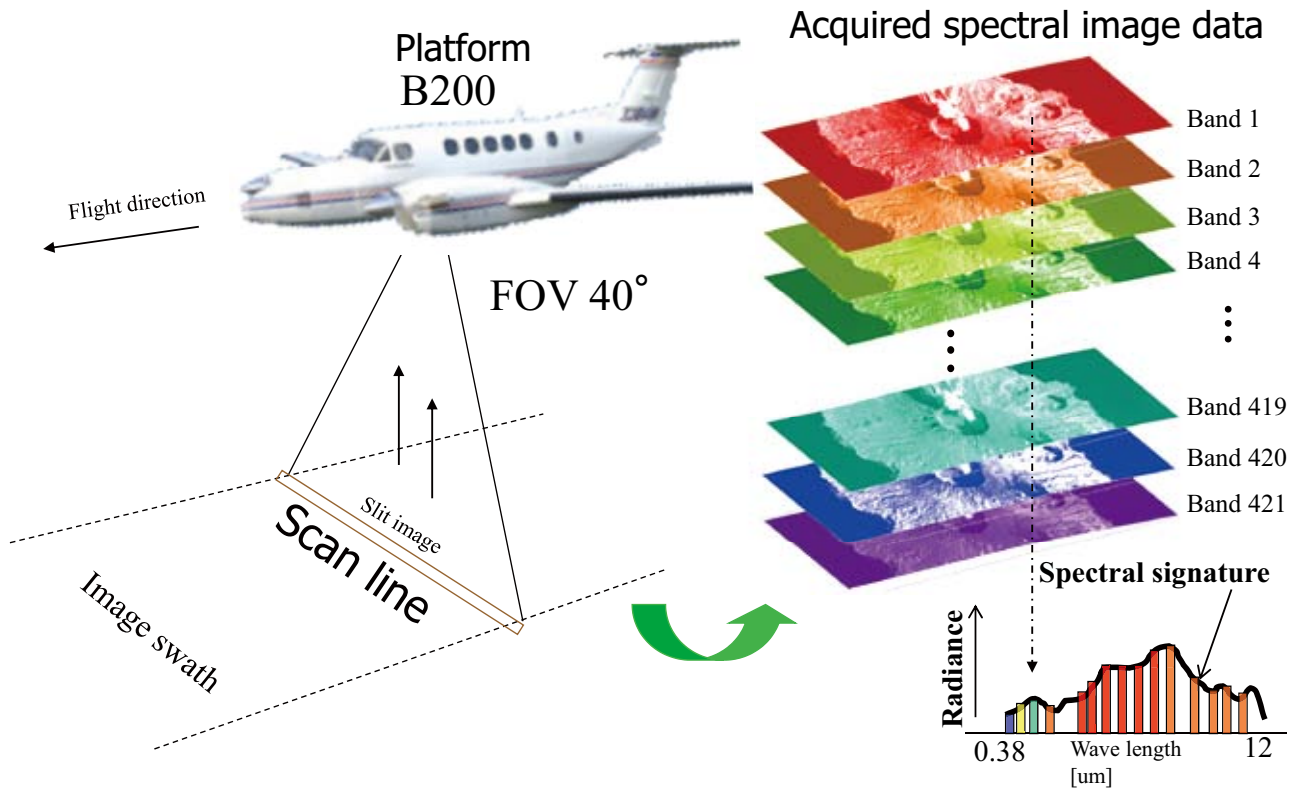


図 1. ARTS によるデータ取得模式図
 Fig. 1 Schematic diagram of ARTS data acquisition.

表 1 ARTS の主要諸元
 Table 1 Summary of the ARTS instrument characteristics.

ARTS Sensor Head Unit	VNIR Unit	SWIR Unit	LWIR Unit
Sensor Type	Pushbroom	Pushbroom	Pushbroom
Wavelength coverage	380 - 1100nm	950 - 2450nm	8000 - 11500nm
Spectral Channels #	288(programmable)	101	32
Spacial Pixels #	1500	600	600
Spectral Resolution (FWHM)	2.4nm	15nm	110nm
Measurement Temperature Range	900 - 1200 deg C	300 - 1200 deg C	-20 - 1200 deg C
Instantaneous Field of View (IFOV)	0.49 mrad	1.2 mrad	1.2 mrad
Total Field of View (FOV)	40 degrees	40 degrees	40 degrees
Geocorrection System	GPS/IMU : Applanix POS/AV310		
Platform	Raytheon King Air Beachcraft B200		

表 2 ARTS による浅間山観測概要
 Table 2 Details of ARTS data acquisition.

Flight No.	Date	Time (UTC+9)	Sensor altitude (m)	Atmospheric temperature at KARUIZAWA (°C)
1	2007/04/12	13:11~13:18	4500	11.4
2	2008/11/14	11:52~11:54	4500	12.6
3-1	2009/02/21	13:15~13:17	5500	0.2
3-2	2009/02/21	13:28~13:30	5500	0.2
4	2010/03/14	14:52~14:56	4500	7.6

2.2 浅間山観測概要

浅間山観測の各回 (Flight No. 1～4) の実施日時、観測高度、気温を表 2 に示す。

また、各回に共通な項目は以下のとおりである。

- 観測場所：浅間山山頂火口周辺 (標高 2,568 m 北緯 36 度 24 分 23 秒 東経 138 度 31 分 23 秒)
- 観測方向：南北方向 (浅間山山頂火口上空)
- 天候：快晴
- 観測機器：航空機搭載型放射伝達スペクトルスキャナ (ARTS)
- ARTS の設定：
 - VNIR SHU 36 bands データ：380-1,050 nm を 36 等分に分光、半値幅 19 nm、瞬時視野 0.49 mrad.
 - SWIR SHU 101 bands データ：900-2,450 nm を 101 等分に分光、半値幅 15 nm、瞬時視野 1.2 mrad.
 - LWIR SHU 32 bands データ：8,000-11,500 nm を 32 等分に分光、半値幅 113 nm、瞬時視野 1.2 mrad.
- 自動幾何補正：空中直接定位装置 GPS/IMU データ、国土地理院の DEM (50m mesh) を使用。

3. データ処理

ARTS の各バンドの計測値を分光放射輝度値に変換した。また観測生画像は、ARTS の空中直接定位装置 GPS/IMU のデータと国土地理院の DEM (50m mesh) を使用し、オルソ幾何補正画像とした。輝度温度画像は、赤外 (10,260 nm) の分光放射輝度値に MODTRAN (Berk *et al.*, 1989)²⁾ による大気補正処理を行い計算した。この輝度温度画像より、以下の式 (1) に示す関岡の式 (Sekioka and Yuhara, 1974)³⁾ を用い放熱率を計算した。

$$G = K \sum_{Ti > Tt} (Ti - To) A(Ti) \quad (1)$$

ここで

G : 放熱率, [W],

K : 実験的定数, $K=35$ を採用, [$Wm^{-2}C^{-1}$],

Ti : 地熱領域の温度, [$^{\circ}C$],

To : 噴気・地熱の影響がない領域の平均温度, [$^{\circ}C$],

Tt : 閾値温度, [$^{\circ}C$],

$Tt = To + 3\sigma_{To}$ で σ_{To} は噴気・地熱の影響がない領域の温度の標準偏差,

$A(Ti)$: 地熱領域の面積 [m^2],

である。

4. 観測結果

以下に、可視擬似カラー画像、輝度温度画像、輝度温度頻度分布、放熱率、最高輝度温度について、結果を示す。

4.1 可視擬似カラー画像と輝度温度画像

各観測の結果は以下のとおりである。なお火口底の輝度温度は、本装置が測定する瞬時視野の分光放射輝度値から求めた値であり、瞬時視野より小さな熱分布が存在する場合や噴気等の影響により、真の最高温度より低め

の値となる。

- 2007 年 4 月 12 日

浅間山の火口内において、最高温度 111 $^{\circ}C$ (10,260 nm の放射輝度より計算) が観測された。浅間山山頂付近の可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm) を図 2 (a) に、輝度温度画像 (10,260 nm の放射輝度より計算) を図 2 (b) に、また、位置の把握のために、国土地理院発行の火山基本図を基に作成した地形図を重ねて表示した可視擬似カラー画像を図 2 (c) に、同様の処理をした輝度温度画像を図 2 (d) に示す。これらの比較より、噴気の影響はあるが、火口底の温度分布が把握できる。

- 2008 年 11 月 14 日

浅間山の火口内において、最高温度 315 $^{\circ}C$ (10,260 nm の放射輝度より計算) が観測された。浅間山山頂付近の可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm) を図 3 (a) に、輝度温度画像 (10,260 nm の放射輝度より計算) を図 3 (b) に、また、位置の把握のために、国土地理院発行の火山基本図を基に作成した地形図を重ねて表示した可視擬似カラー画像を図 3 (c) に、同様の処理をした輝度温度画像を図 3 (d) に示す。これらの比較より、噴気の影響はあるが、火口底の温度分布が把握できる。

- 2009 年 2 月 21 日

本観測は、2009 年 2 月 2 日の小噴火後の浅間山の熱的活動状況把握のために実施した。観測時、火口内は噴気に覆われ熱分布が把握しにくい状況であったため、複数回の計測を実施した。その中で温度分布が比較的良好に把握できた 2 つの観測結果を示す。

2009 年 2 月 21 日 13 時 15 分の観測結果：浅間山の火口内において、最高温度 67 $^{\circ}C$ (10,260 nm の放射輝度より計算) が観測された。浅間山山頂付近の可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm) を図 4 (a) に、輝度温度画像 (10,260 nm の放射輝度より計算) を図 4 (b) に、また、位置の把握のために、国土地理院発行の火山基本図を基に作成した地形図を重ねて表示した可視擬似カラー画像を図 4 (c) に、同様の処理をした輝度温度画像を図 4 (d) に示す。これらの比較より、火口中心よりやや西側の部分は噴気により火口底の熱分布は把握できないが、火口内の中央部、東側付近は、噴気の影響はあるが、火口底の温度分布が把握できる。

2009 年 2 月 21 日 13 時 28 分の観測結果：浅間山の火口内において、最高温度 47 $^{\circ}C$ (10,260 nm の放射輝度より計算) が観測された。浅間山山頂付近の可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm) を図 5 (a) に、輝度温度画像 (10,260 nm の放射輝度より計算) を図 5 (b) に、また、位置の把握のために、国土地理院発行の火山基本図を基に作成した地形図を重ねて表示した可視擬似カラー画像を図 5 (c) に、同様の処理をした輝度温度画像を図 5 (d) に示す。これらの比較より、火口中心部分は噴気により火口底の熱分布は把握できないが、火口内の西側、東側付近は、噴気の影響はあるが、火口底の温度分布が把握できる。

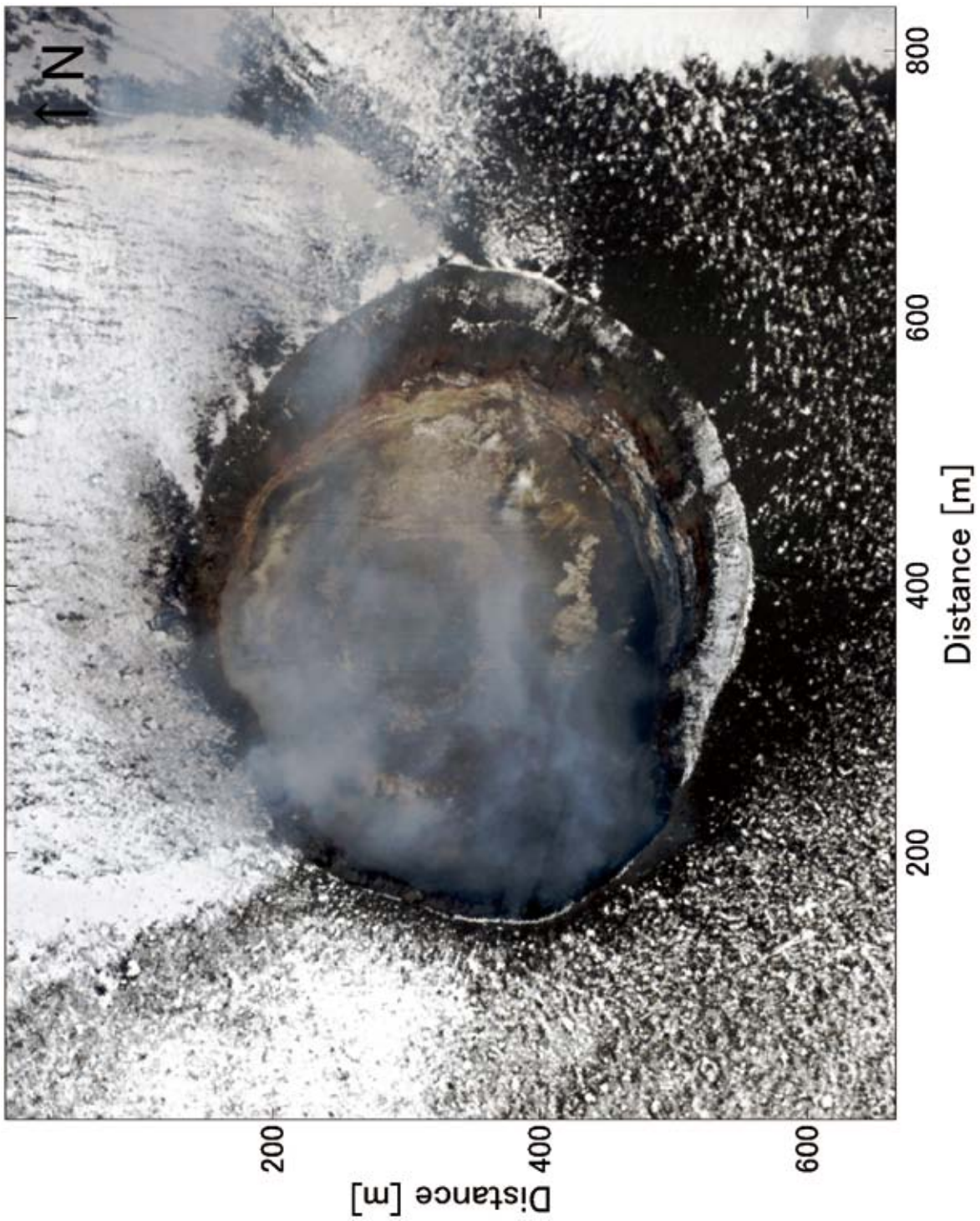


図 2 (a) 浅間山火口付近のオルソ補正済み可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm), 2007 年 4 月 12 日
Fig. 2 (a) Three-band color composite of orthorectified VNIR image (660 nm red, 565 nm green, and 470 nm blue) around the Asama Volcano crater observed on 12 Apr. 2007.

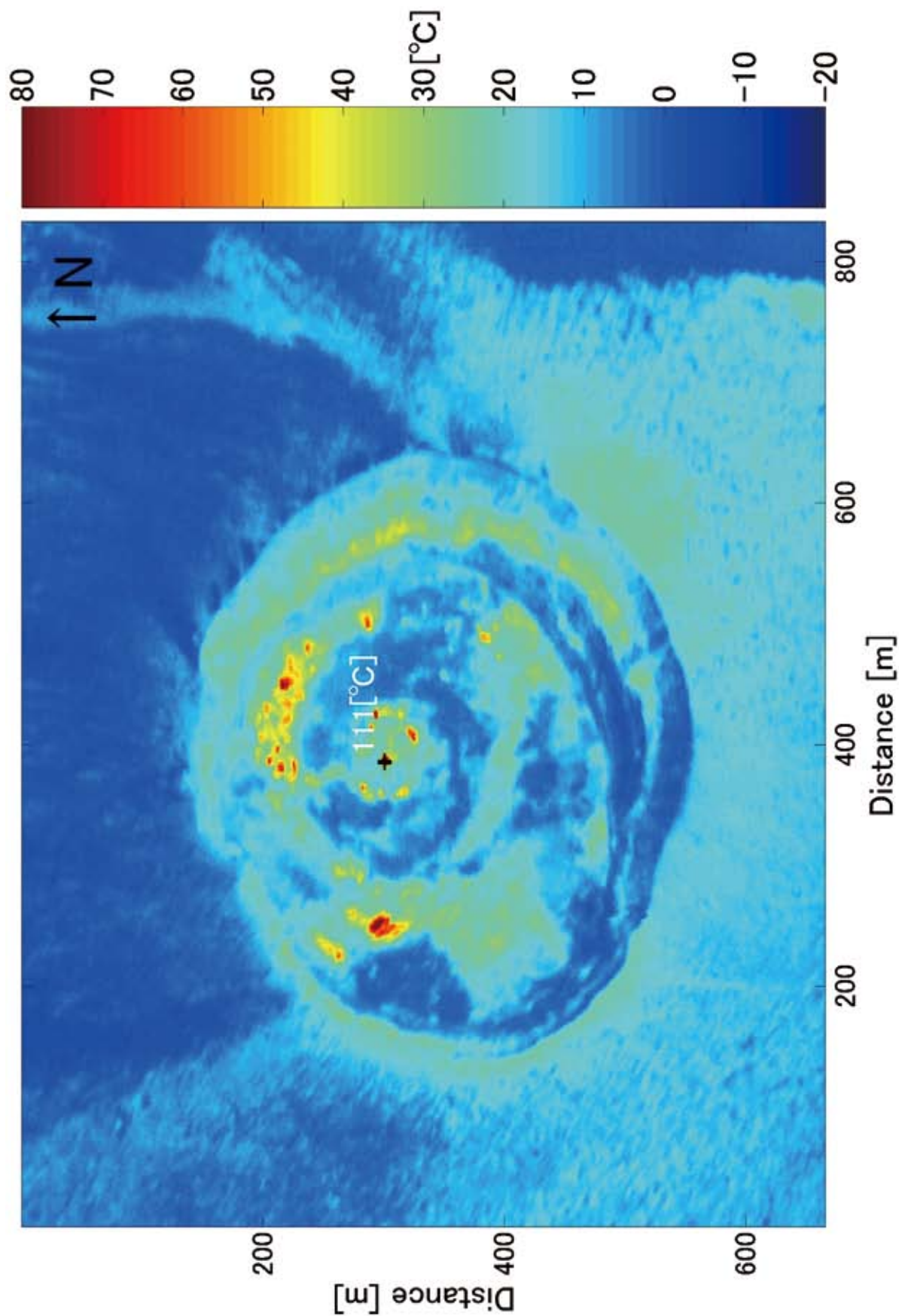


図 2 (b) 浅間山火口付近のオルソ補正済み輝度温度画像 (ARTS の 10,260 nm の放射輝度より計算), 2007 年 4 月 12 日. 最高輝度温度 111 °C
Fig. 2 (b) Orthorectified ground-surface brightness temperature images at the crater of Asama Volcano derived from ARTS' LWIR (10,260 nm) radiance
observed on 12 Apr. 2007. The estimated maximum brightness temperature of the Asama Volcano crater is 111 °C.

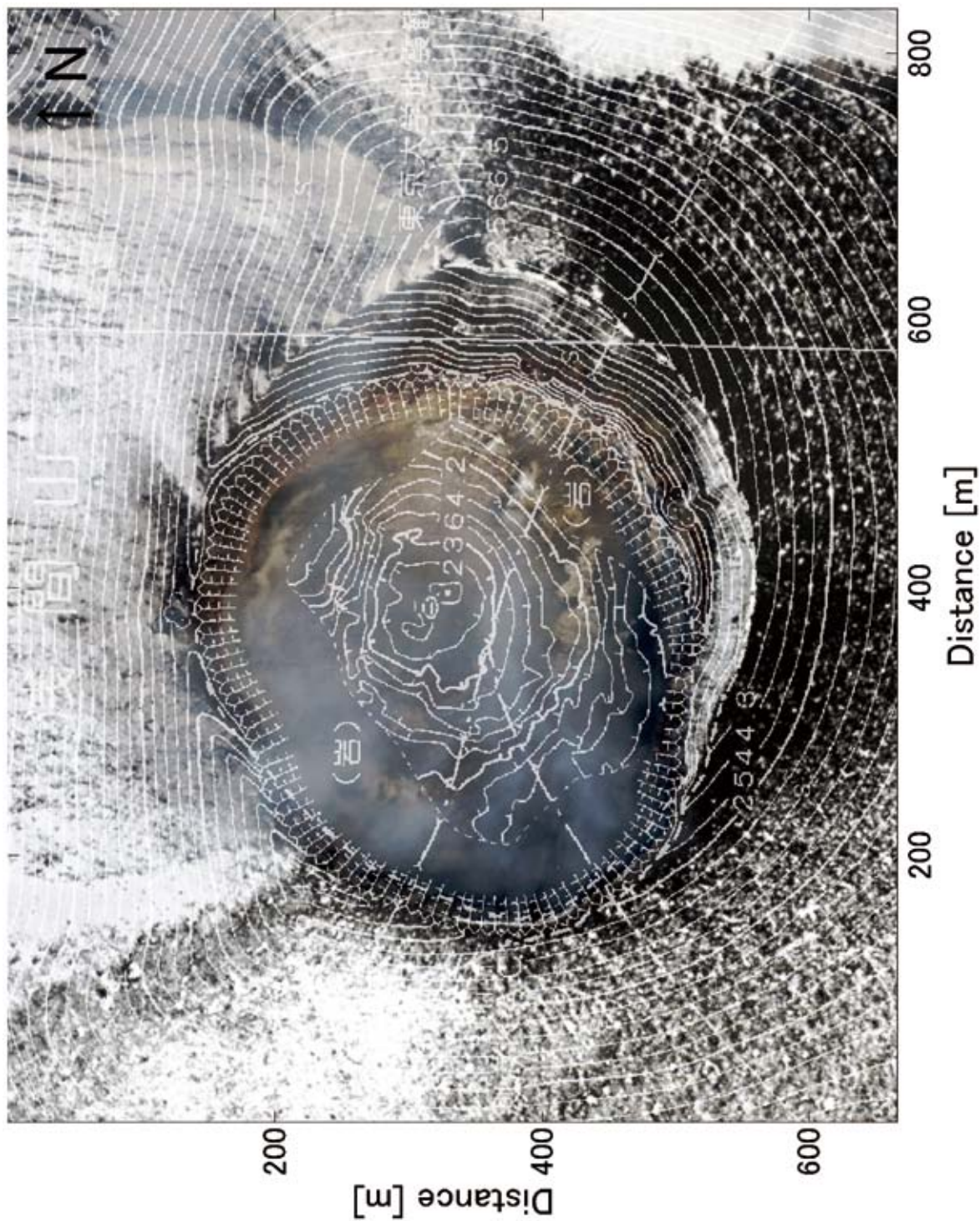


図 2 (c) 浅間山火口付近のオルソ補正済み可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm, 国土地理院発行の火山基本図より作成した地形図を重ねがき), 2007 年 4 月 12 日

Fig. 2 (c) Three-band color composite of orthorectified VNIR image (660 nm red, 565 nm green, and 470 nm blue) around the Asama Volcano crater observed on 12 Apr. 2007 shown with topographical map from Volcanic Base Map of GSI.

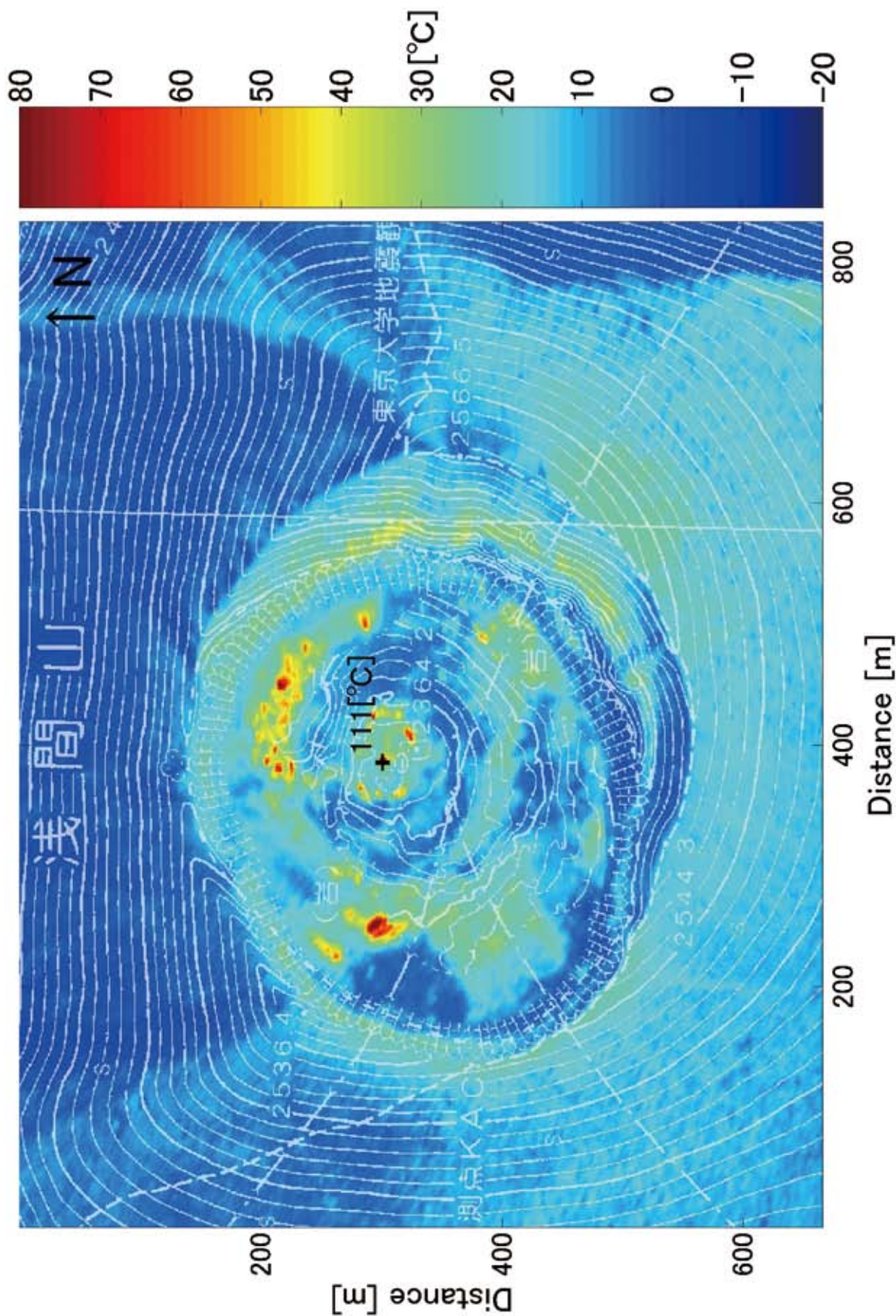


図 2 (d) 浅間山火口付近のオルソ補正済み輝度温度画像 (ARTS の 10,260 nm の放射輝度より計算, 国土地理院発行の火山基本図より作成した地形図を重ねがき), 2007 年 4 月 12 日. 最高輝度温度 111 °C

Fig. 2 (d) Orthorectified ground-surface brightness temperature images in the Asama Volcano crater derived from ARTS' LWIR (10,260 nm) radiance observed on 12 Apr. 2007. The estimated maximum brightness temperature in the Asama Volcano crater is 111 °C shown with topographical map from Volcanic Base Map of GSI.

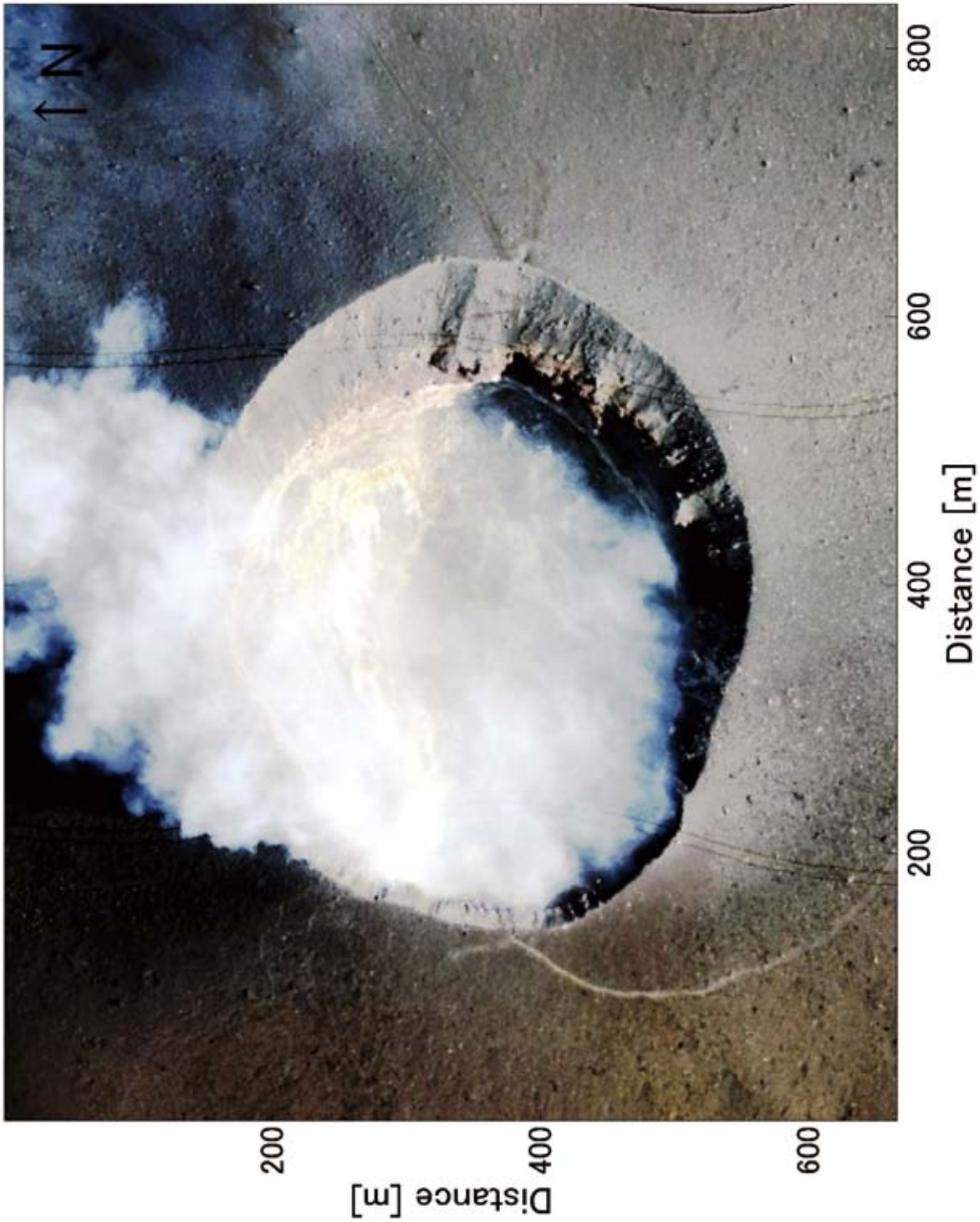


図 3 (a) 浅間山火口付近のオルソ補正済み可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm), 2008 年 11 月 14 日
Fig. 3 (a) Three-band color composite of orthorectified VNIR image (660 nm red, 565 nm green, and 470 nm blue) around the Asama Volcano crater observed on 14 Nov. 2008.

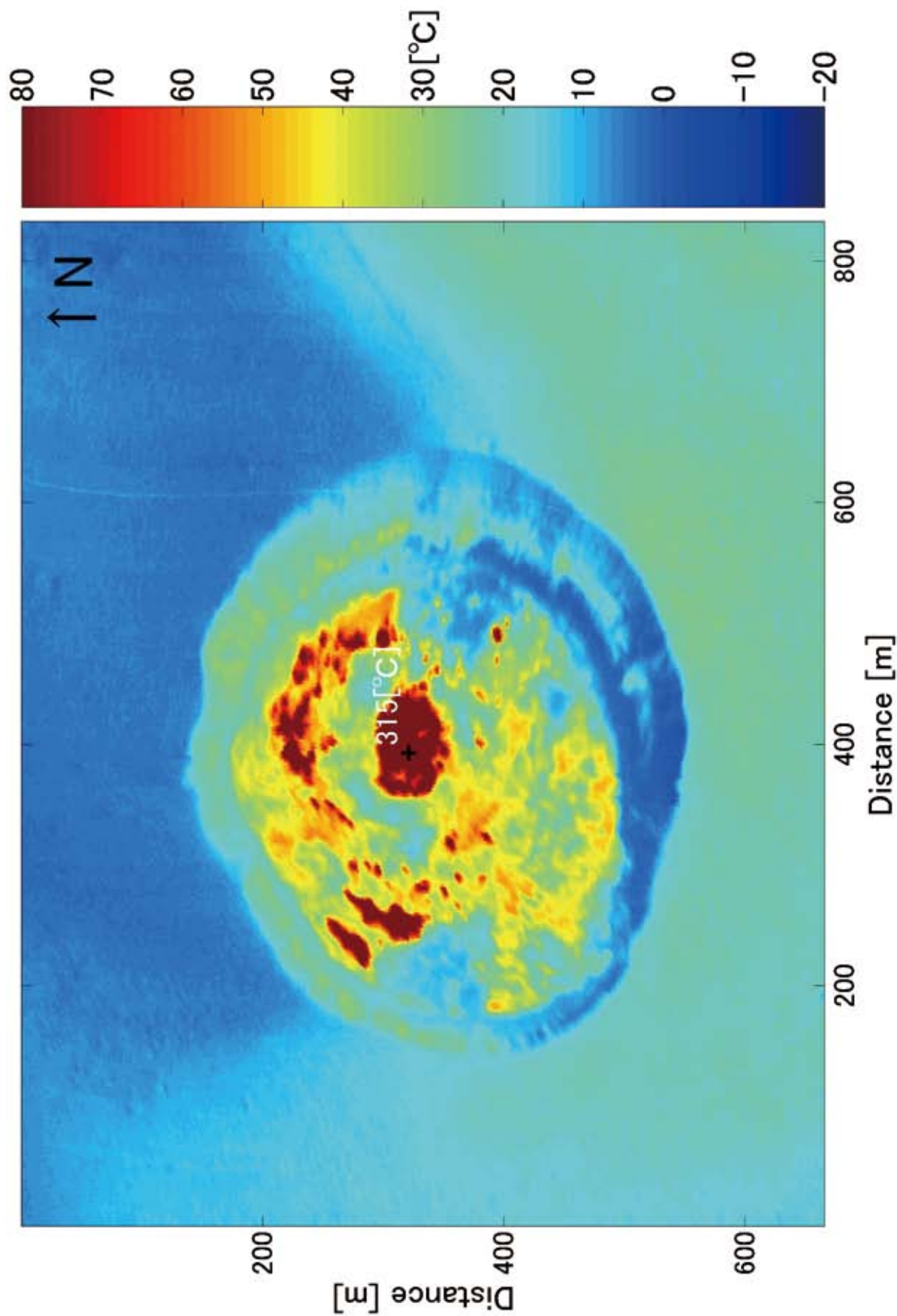


図 3 (b) 浅間山火口付近のオルソ補正輝度温度画像 (ARTS の 10,260 nm の放射輝度より計算), 2008 年 11 月 14 日. 最高輝度温度 315 °C
Fig. 3 (b) Orthorectified ground-surface brightness temperature images in the Asama Volcano crater derived from ARTS' LWIR (10,260 nm) radiance observed on 14 Nov. 2008. The estimated maximum brightness temperature of the Asama Volcano crater is 315 °C.

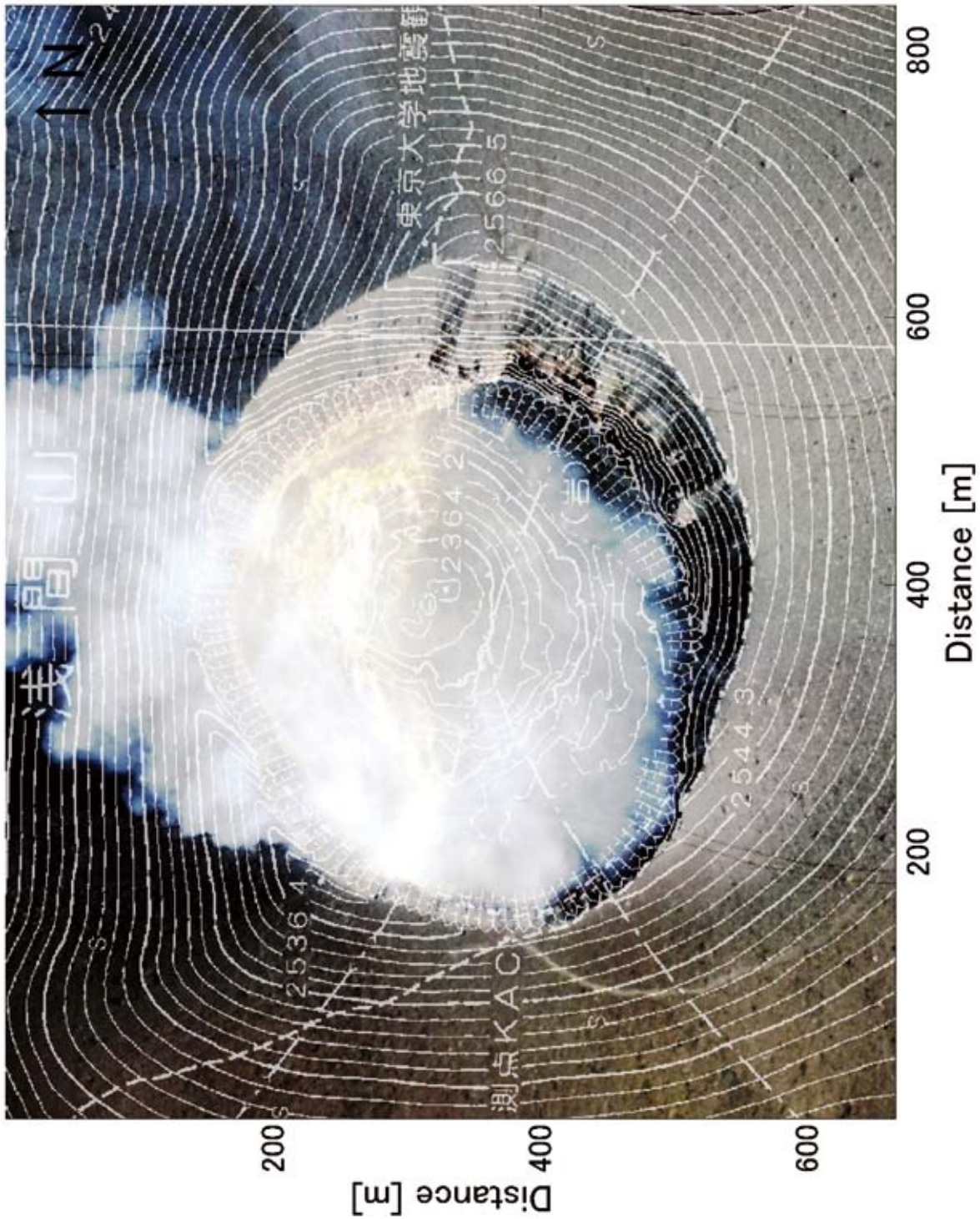


図3(c) 浅間山火口付近のオルソ補正済み可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm, 国土地理院発行の火山基本図より作成した地形図を重ねがき), 2008年11月14日

Fig. 3 (c) Three-band color composite of orthorectified VNIR image (660 nm red, 565 nm green, and 470 nm blue) around the Asama Volcano crater observed on 14 Nov. 2008 shown with topographical map from Volcanic Base Map of GSI.

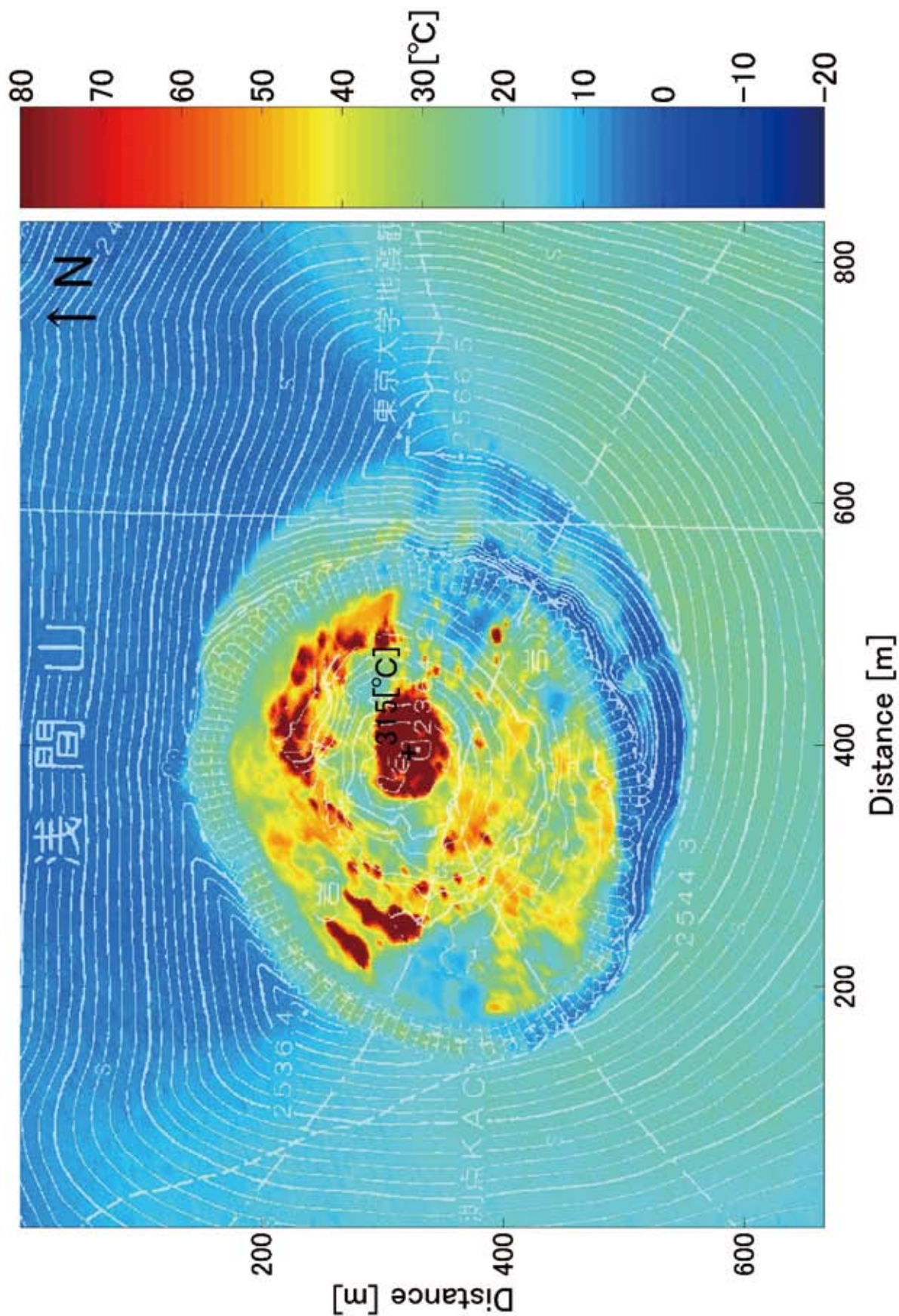


図 3 (d) 浅間山火口付近のオルソ補正済み輝度温度画像 (ARTS の 10,260 nm の放射輝度より計算, 国土地理院発行の火山基本図より作成した地形図を重ねがき), 2008 年 11 月 14 日. 最高輝度温度 315 °C

Fig. 3 (d) Orthorectified ground-surface brightness temperature images at the Asama Volcano crater derived from ARTS' LWIR (10,260 nm) radiance observed on 14 Nov. 2008. The estimated maximum brightness temperature in the Asama Volcano crater is 315 °C shown with topographical map from Volcanic Base Map of GSI.

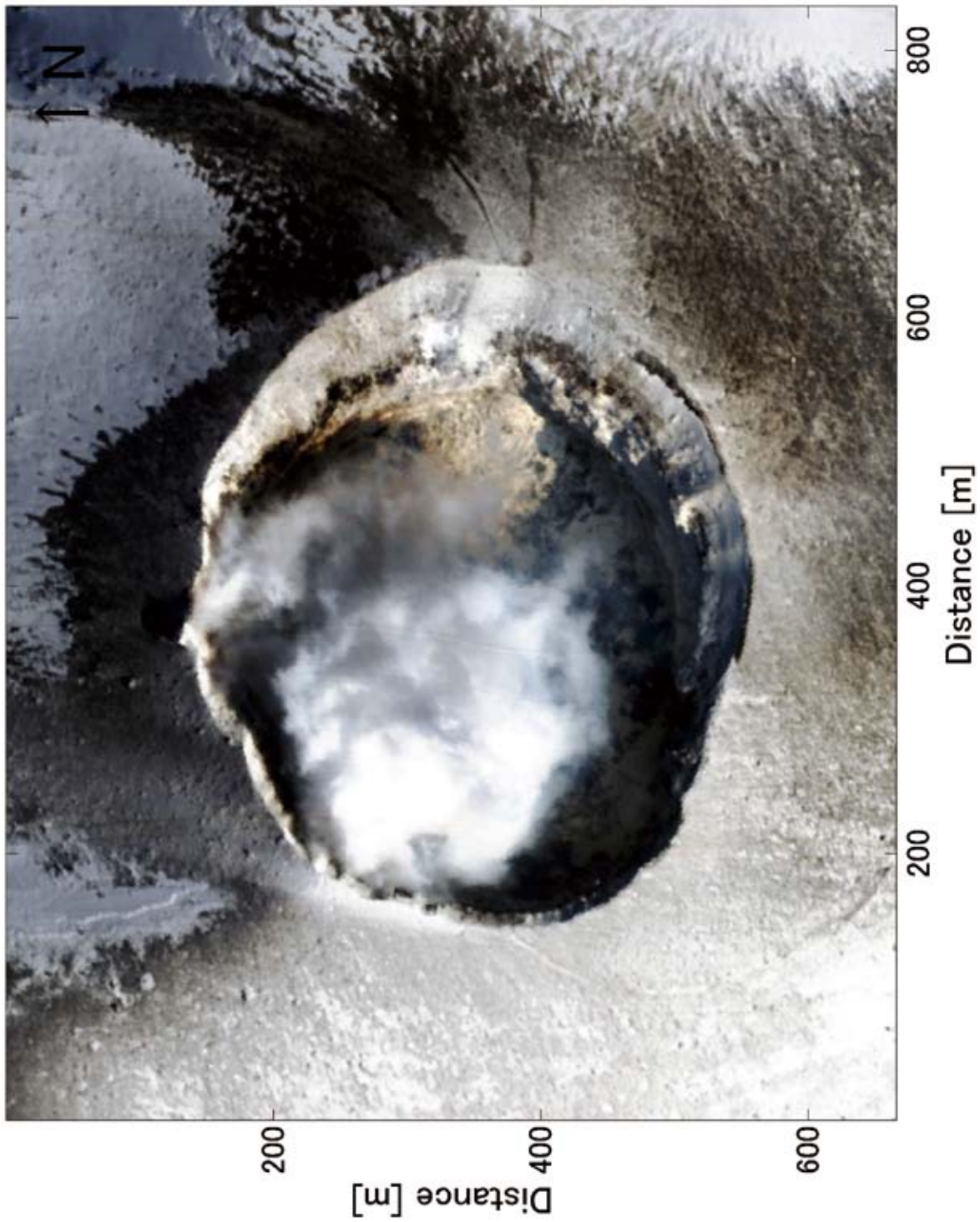


図 4 (a) 浅間山火口付近のオルソ補正済み可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm), 2009 年 2 月 21 日, 13 時 15 分
Fig. 4 (a) Three-band color composite of orthorectified VNIR image (660 nm red, 565 nm green, and 470 nm blue) around the Asama Volcano crater observed at 1315 (UTC+9) on 21 Feb. 2009.

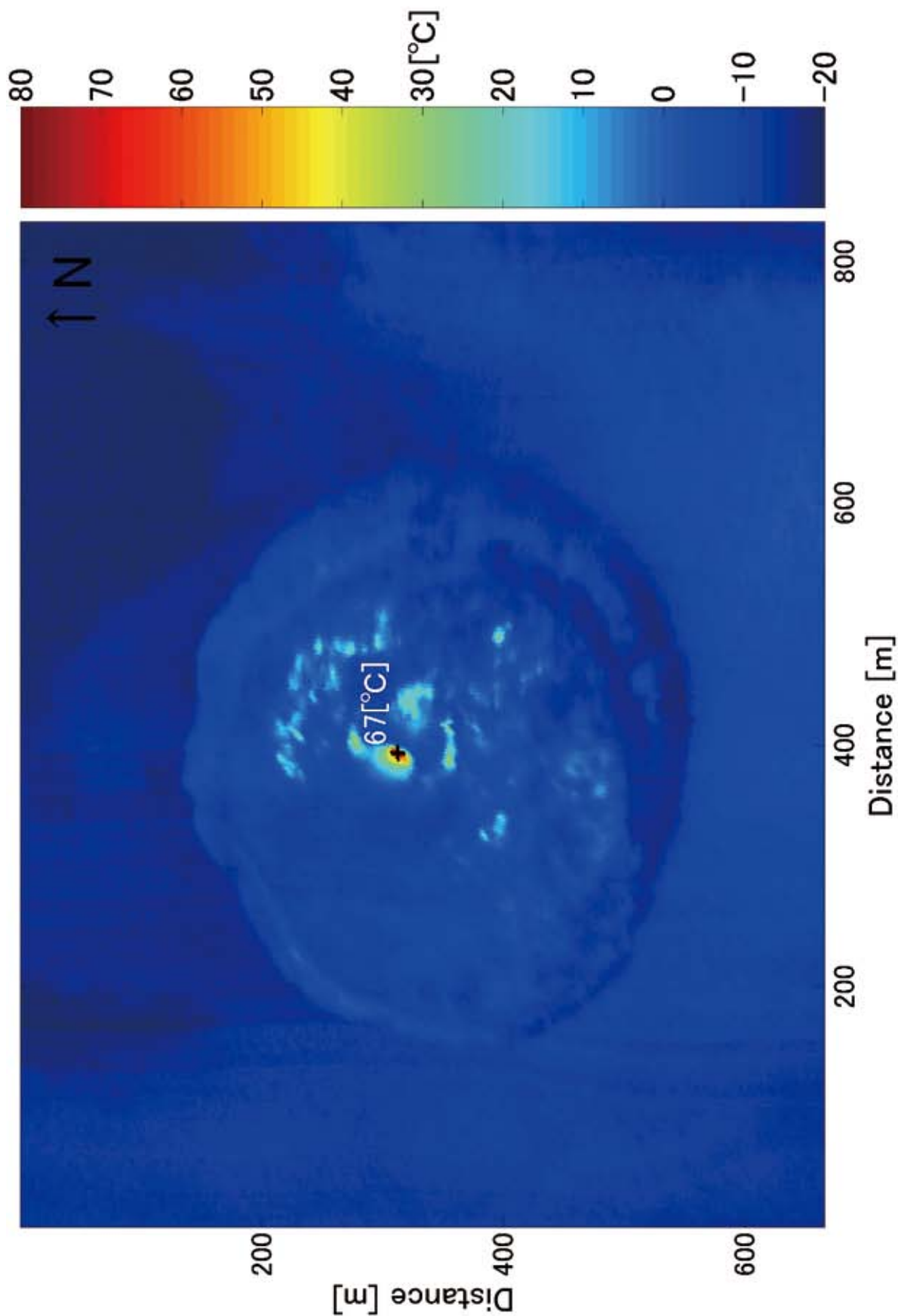


図 4 (b) 浅間山火口付近のオルソ補正済み輝度温度画像 (ARTS の 10,260 nm の放射輝度より計算), 2009 年 2 月 21 日, 13 時 15 分, 最高輝度温度 67 °C
 Fig. 4 (b) Orthorectified ground-surface brightness temperature images at the Asama Volcano crater derived from ARTS' LWIR (10,260 nm) radiance observed at 1315 (UTC+9) 21 Feb. 2009. The estimated maximum brightness temperature of the Asama Volcano crater is 67 °C.

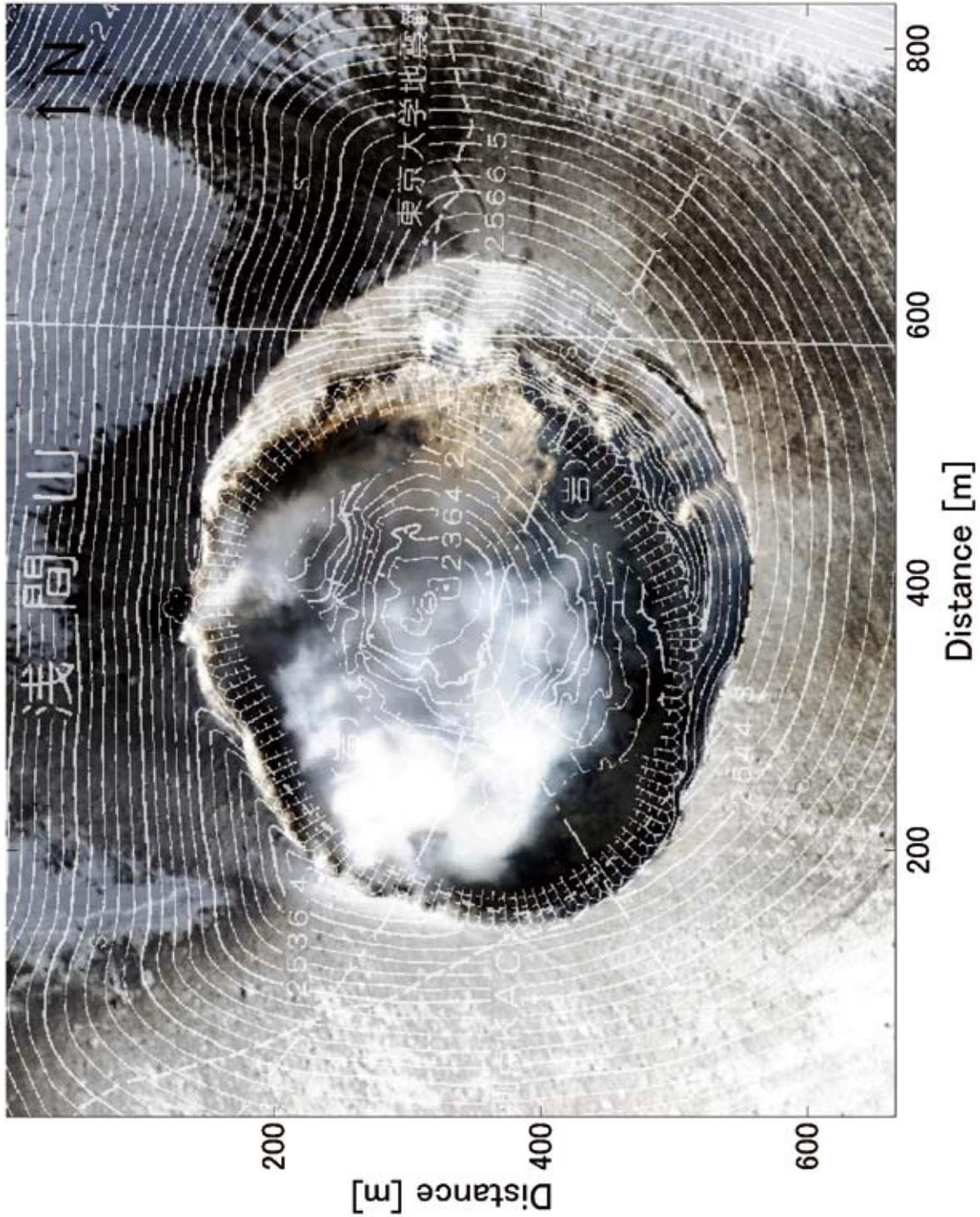


図4(c) 浅間山火口付近のオルソ補正済み可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm, 国土地理院発行の火山基本図より作成した地形図を重ねがき), 2009年2月21日, 13時15分
Fig. 4 (c) Three-band color composite of orthorectified VNIR image (660 nm red, 565 nm green, and 470 nm blue) around the Asama Volcano crater observed at 1315 (UTC+9) 21 Feb. 2009 shown with topographical map from Volcanic Base Map of GSI.

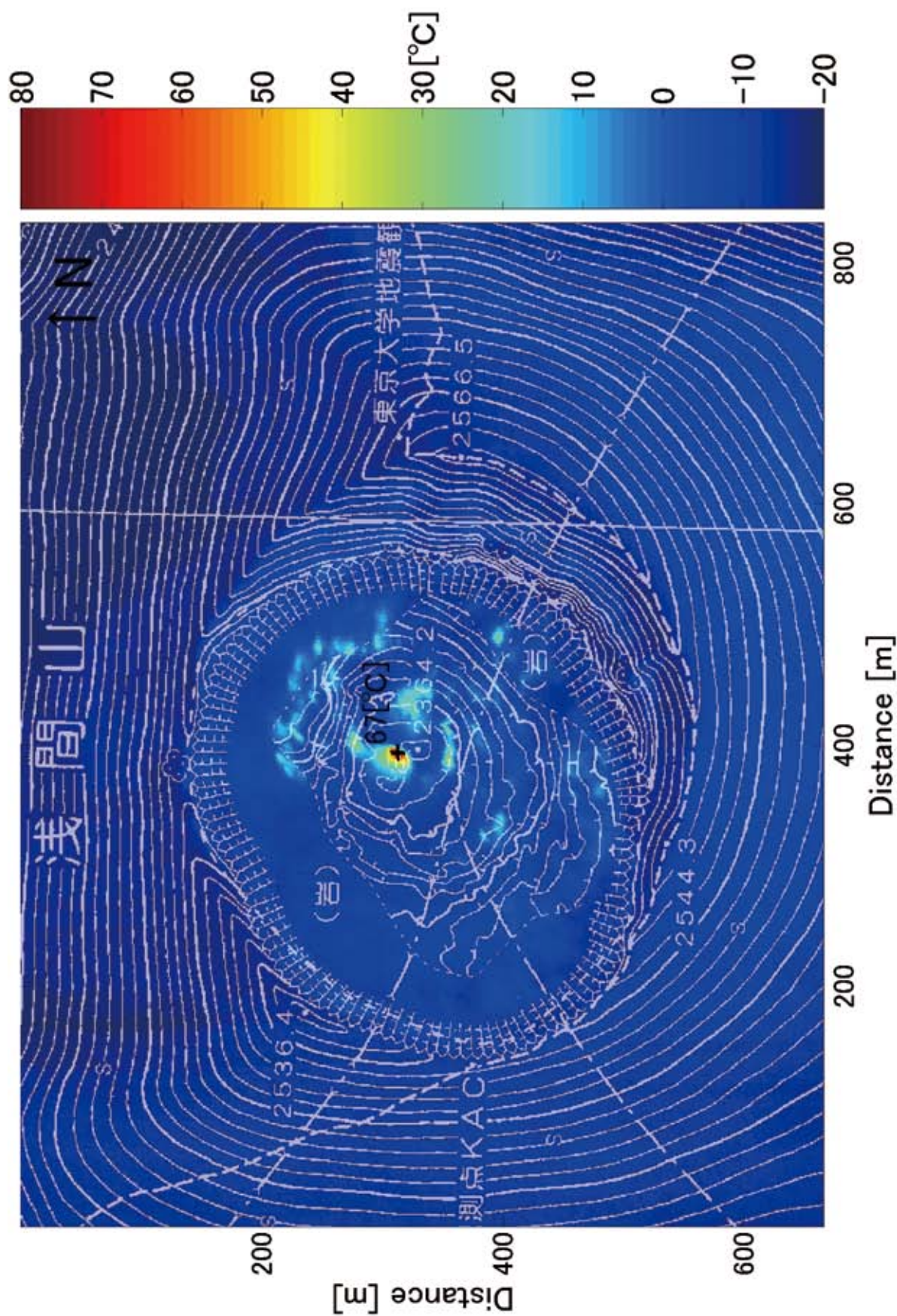


図 4 (d) 浅間山火口付近のオルソ補正済み輝度温度画像 (ARTS の 10,260 nm の放射輝度より計算, 国土地理院発行の火山基本図より作成した地形図を重ねがき), 2009 年 2 月 21 日, 13 時 15 分. 最高輝度温度 67 °C

Fig. 4 (d) Orthorectified ground-surface brightness temperature images at the Asama Volcano crater derived from ARTS' LWIR (10,260 nm) radiance observed at 1315 (UTC+9) 21 Feb. 2009. The estimated maximum brightness temperature of the Asama Volcano crater is 67 °C shown with topographical map from Volcanic Base Map of GSI.

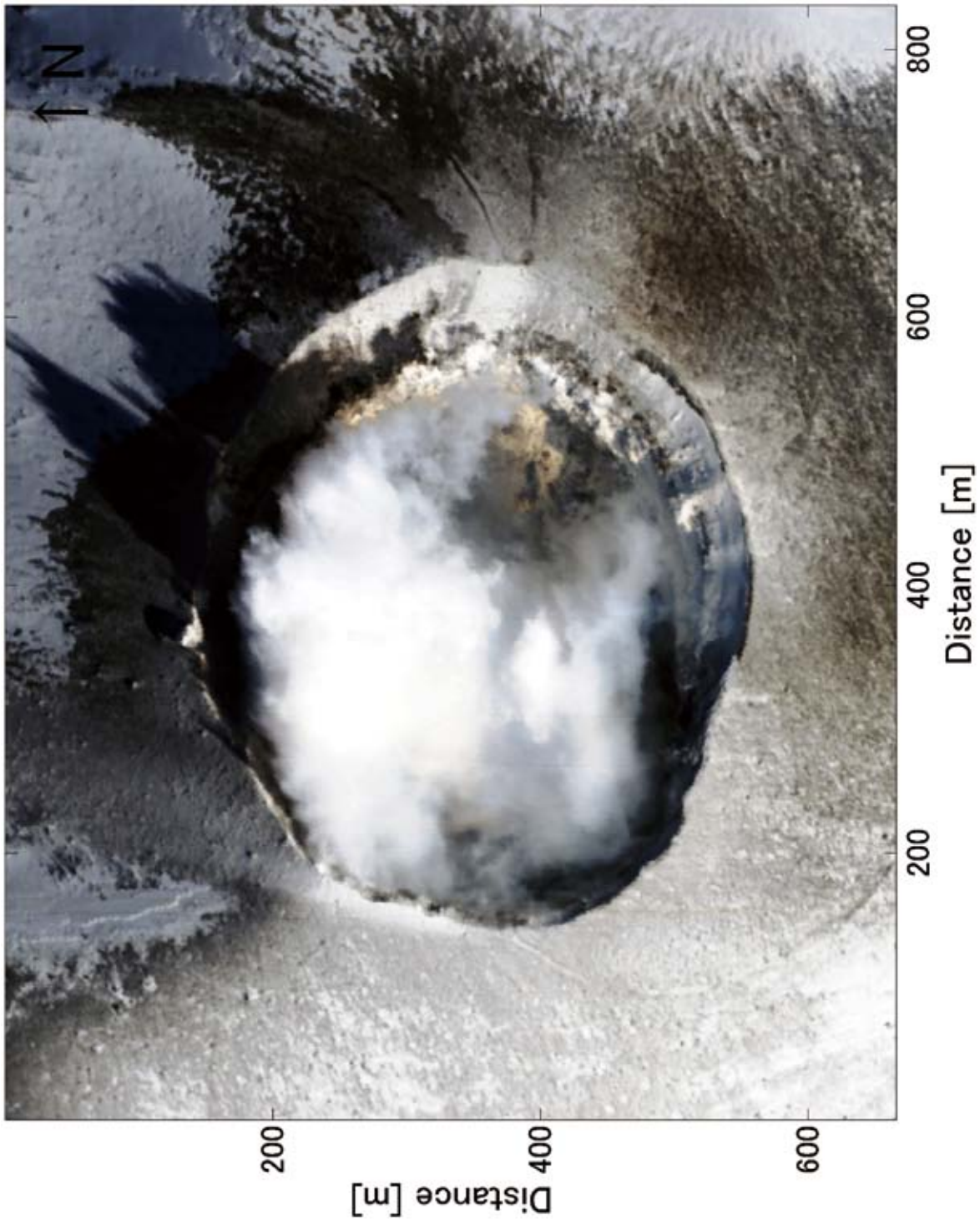


図 5 (a) 浅間山火口付近のオルソ補正済み可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm), 2009 年 2 月 21 日, 13 時 28 分
Fig. 5 (a) Three-band color composite of orthorectified VNIR image (660 nm red, 565 nm green, and 470 nm blue) around the Asama Volcano crater observed at 1328 (UTC+9) 21 Feb. 2009.

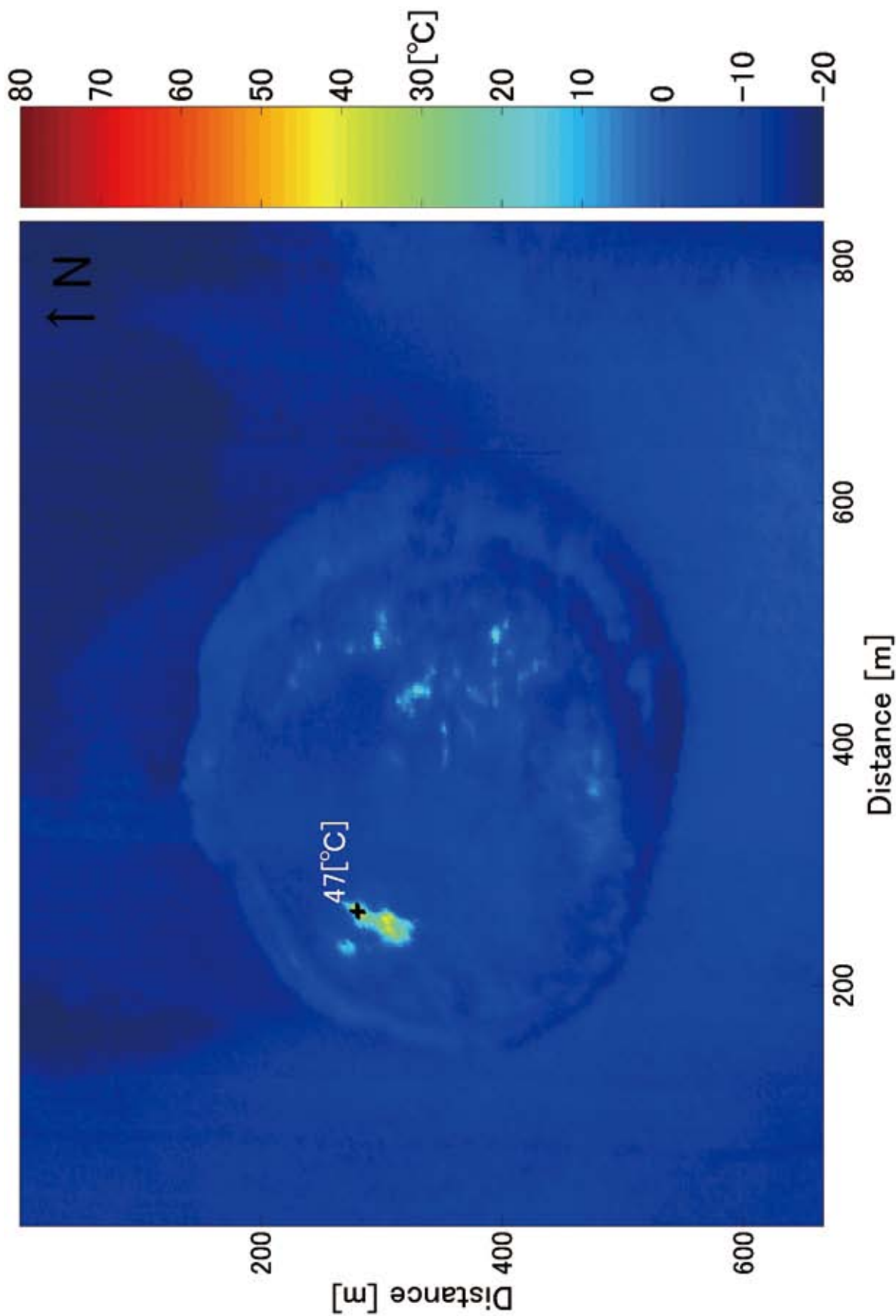


図 5 (b) 浅間山火口付近のオルソ補正済み輝度温度画像(ARTS の 10,260 nm の放射輝度より計算), 2009 年 2 月 21 日, 13 時 28 分.
最高輝度温度 47 °C

Fig. 5 (b) Orthorectified ground-surface brightness temperature images at the Asama Volcano crater derived from ARTS' LWIR (10,260 nm) radiance observed at 1328 (UTC+9) 21 Feb. 2009. The estimated maximum brightness temperature of the Asama Volcano crater is 47 °C.

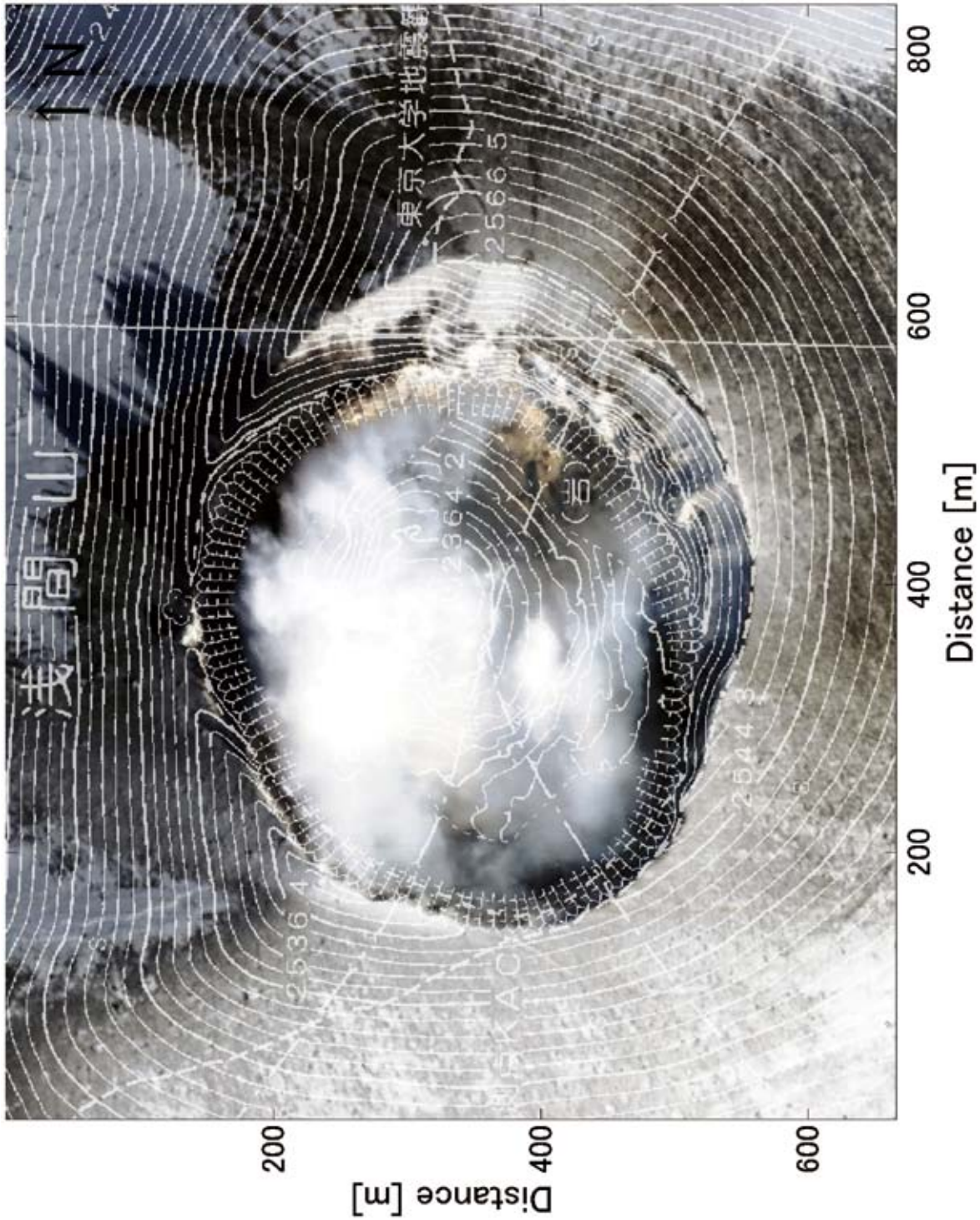


図5(c) 浅間山火口付近のオルソ補正済み可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm, 国土地理院発行の火山基本図より作成した地形図を重ねがき), 2009年2月21日, 13時28分

Fig. 5 (c) Three-band color composite of orthorectified VNIR image (660 nm red, 565 nm green, and 470 nm blue) around the Asama Volcano crater observed at 1328 (UTC+9) 21 Feb. 2009 shown with topographical map from Volcanic Base Map of GSI.

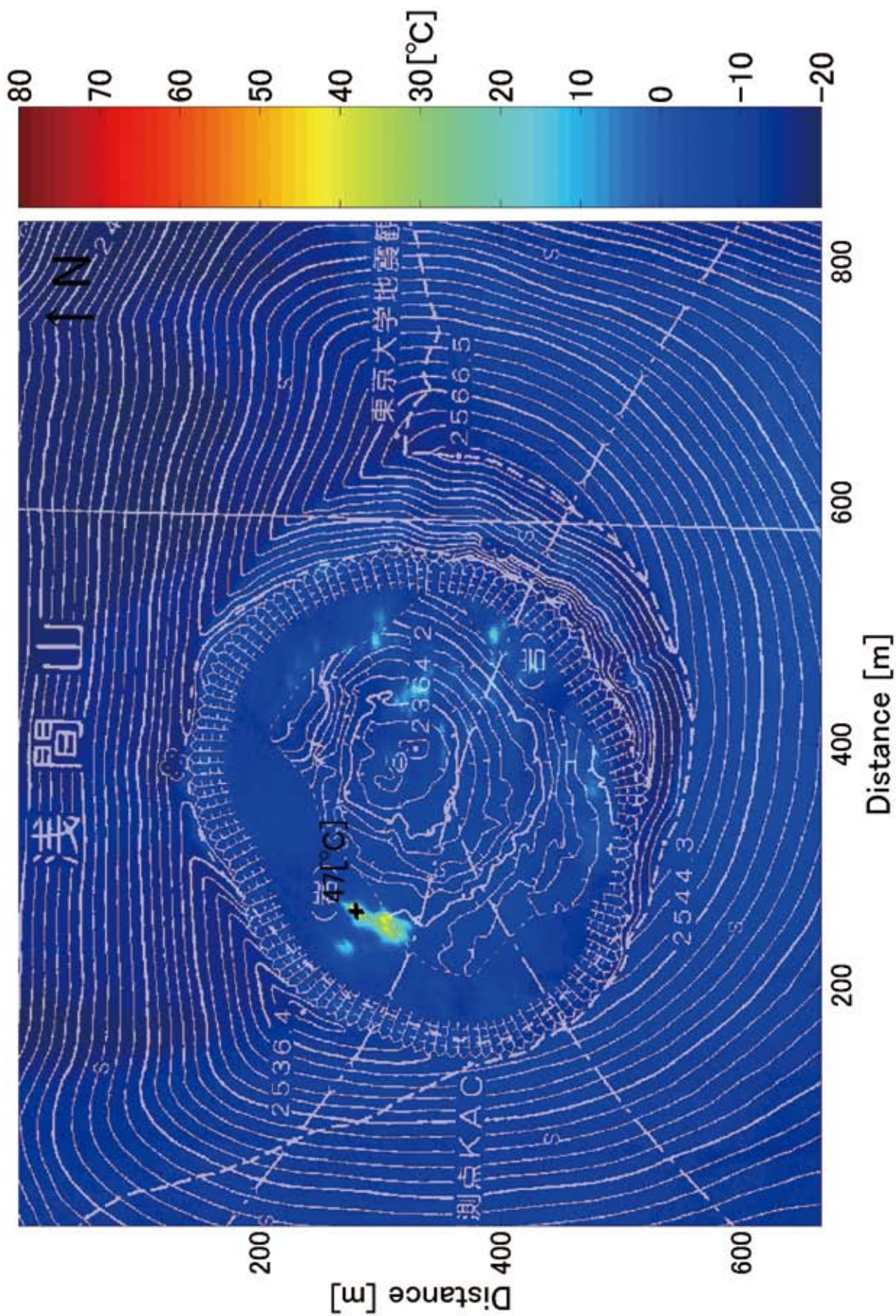


図 5 (d) 浅間山火口付近のオルソ補正済み輝度温度画像 (ARTS の 10,260 nm の放射輝度より計算, 国土地理院発行の火山基本図より作成した地形図を重ねがき), 2009 年 2 月 21 日, 13 時 28 分. 最高輝度温度 47 °C

Fig. 5 (d) Orthorectified ground-surface brightness temperature images at the Asama Volcano crater derived from ARTS' LWIR (10,260 nm) radiance observed at 1328 (UTC+9) 21 Feb. 2009. The estimated maximum brightness temperature of the Asama Volcano crater is 47 °C shown with topographical map from Volcanic Base Map of GSI.

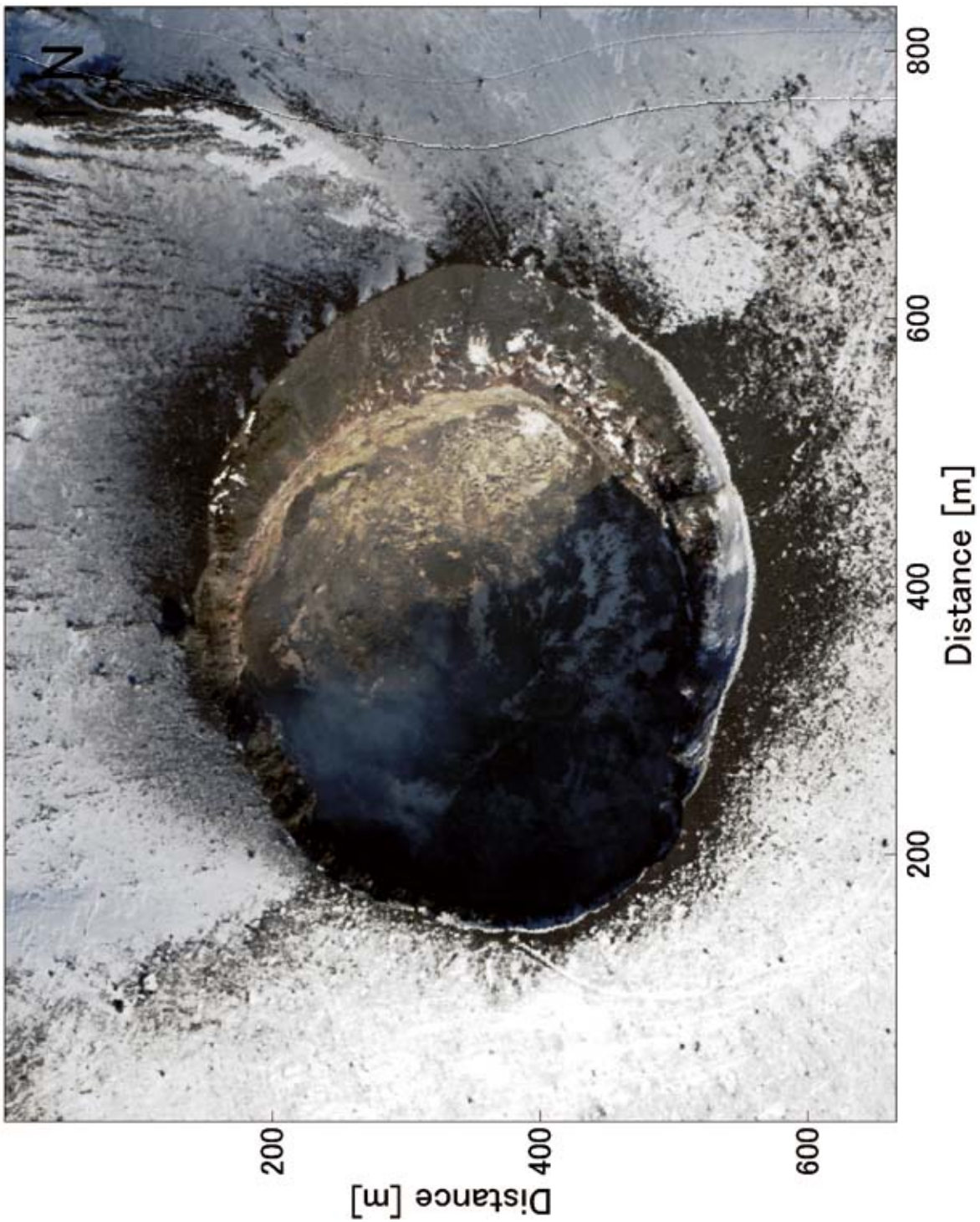


図 6 (a) 浅間山火口付近のオルソ補正済み可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm), 2010 年 3 月 14 日
Fig. 6 (a) Three-band color composite of orthorectified VNIR image (660 nm red, 565 nm green, and 470 nm blue) around the Asama Volcano crater observed on 14 Mar. 2010.

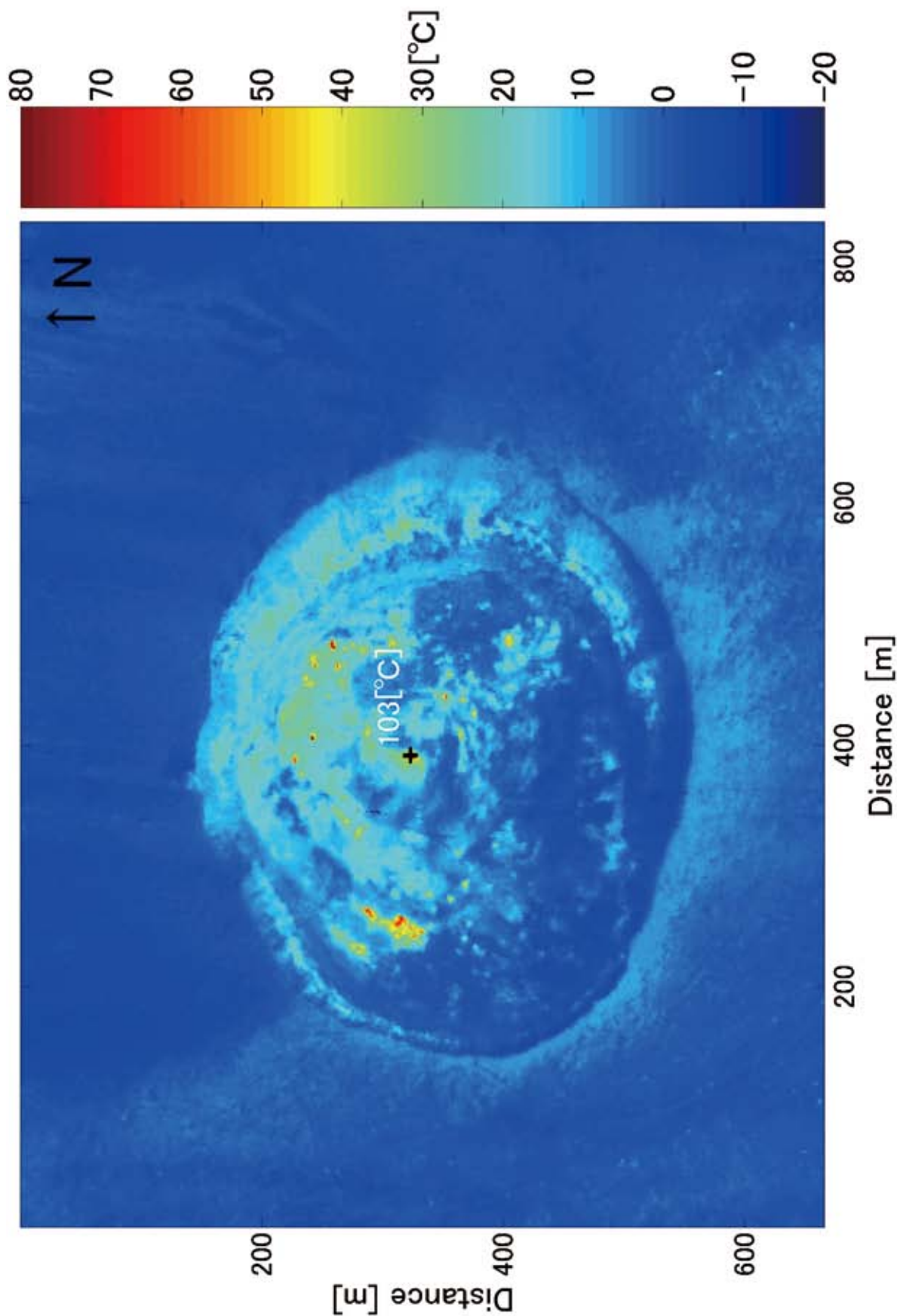


図 6 (b) 浅間山火口付近のオルソ補正済み輝度温度画像(ARTS の 10,260 nm の放射輝度より計算), 2010 年 3 月 14 日. 最高輝度温度 103 °C
Fig. 6 (b) Orthorectified ground-surface brightness temperature images at the Asama Volcano crater derived from ARTS' LWIR (10,260 nm) radiance
observed on 14 Mar. 2010. The estimated maximum brightness temperature of the Asama Volcano crater is 103 °C.

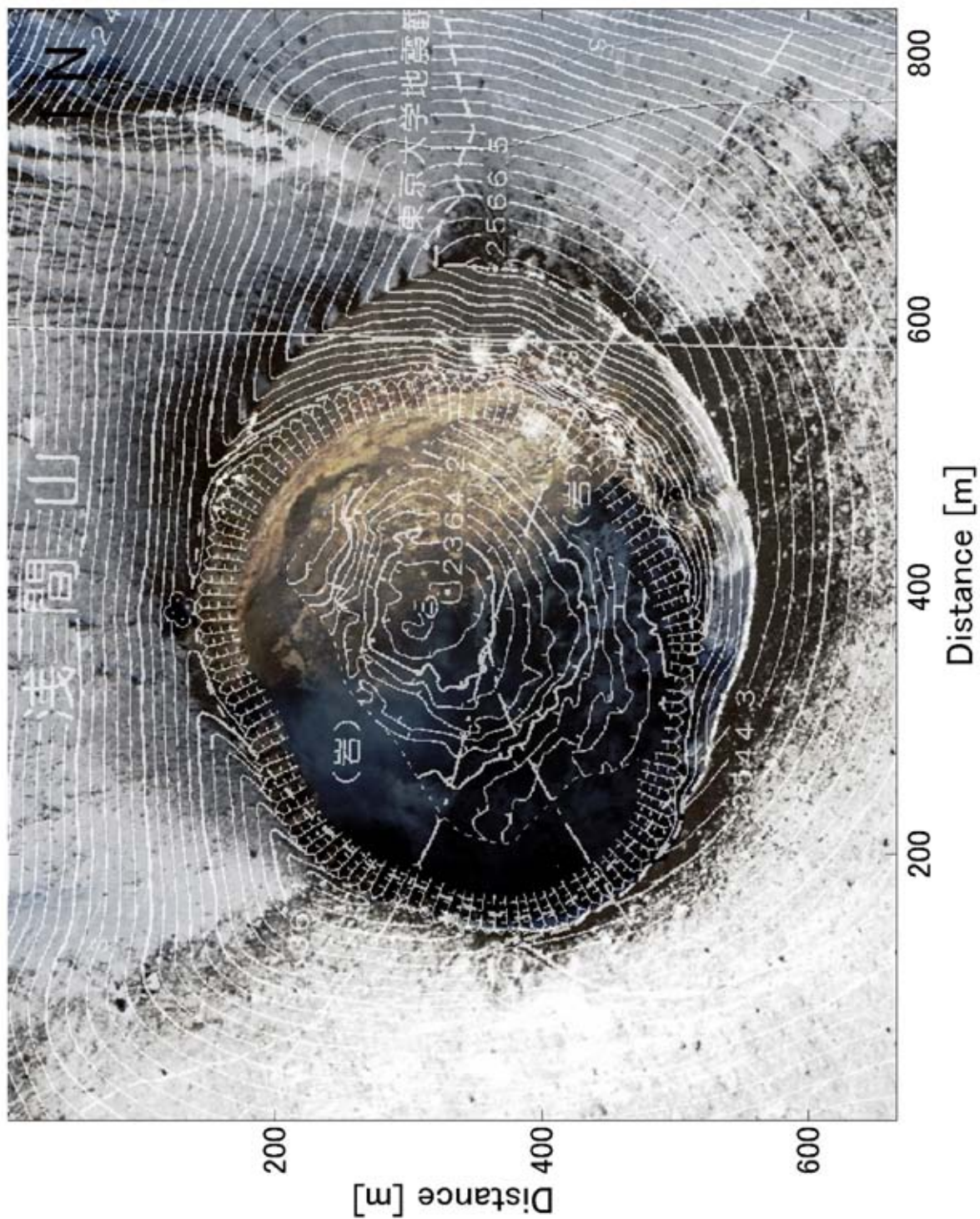


図 6 (c) 浅間山火口付近のオルソ補正済み可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm, 国土地理院発行の火山基本図より作成した地形図を重ねがき), 2010 年 3 月 14 日

Fig. 6 (c) Three-band color composite of orthorectified VNIR image (660 nm red, 565 nm green, and 470 nm blue) around the Asama Volcano crater observed on 14 Mar. 2010 shown with topographical map from Volcanic Base Map of GSI.

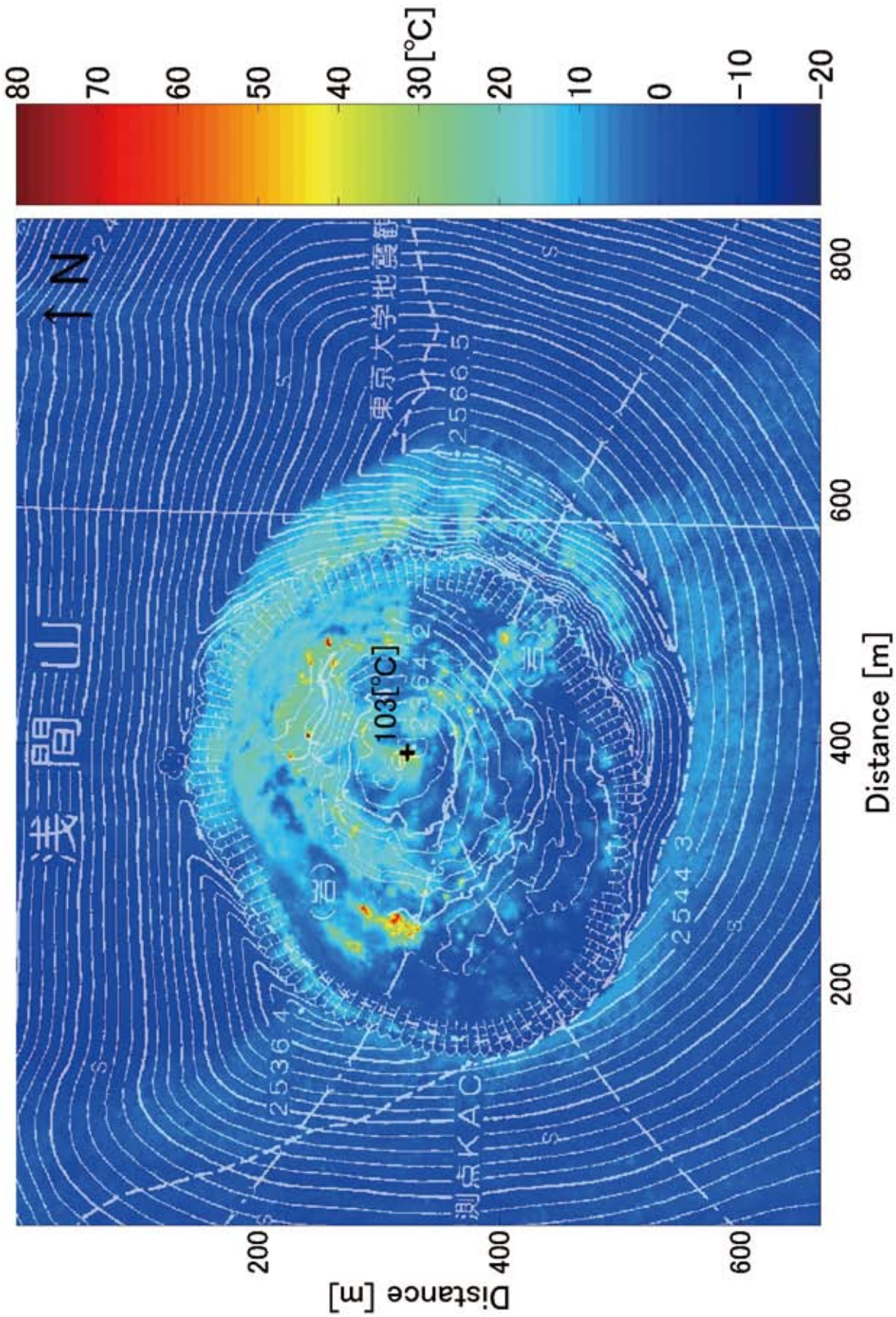


図 6 (d) 浅間山火口付近のオルソ補正済み輝度温度画像 (ARTS の 10,260 nm の放射輝度より計算, 国土地理院発行の火山基本図より作成した地形図を重ねがき), 2010 年 3 月 14 日. 最高輝度温度 103 °C

Fig. 6 (d) Orthorectified ground-surface brightness temperature images at the Asama Volcano crater derived from ARTS' LWIR (10,260 nm) radiance observed on 14 Mar. 2010. The estimated maximum brightness temperature of the Asama Volcano crater is 103 °C shown with topographical map from Volcanic Base Map of GSI.

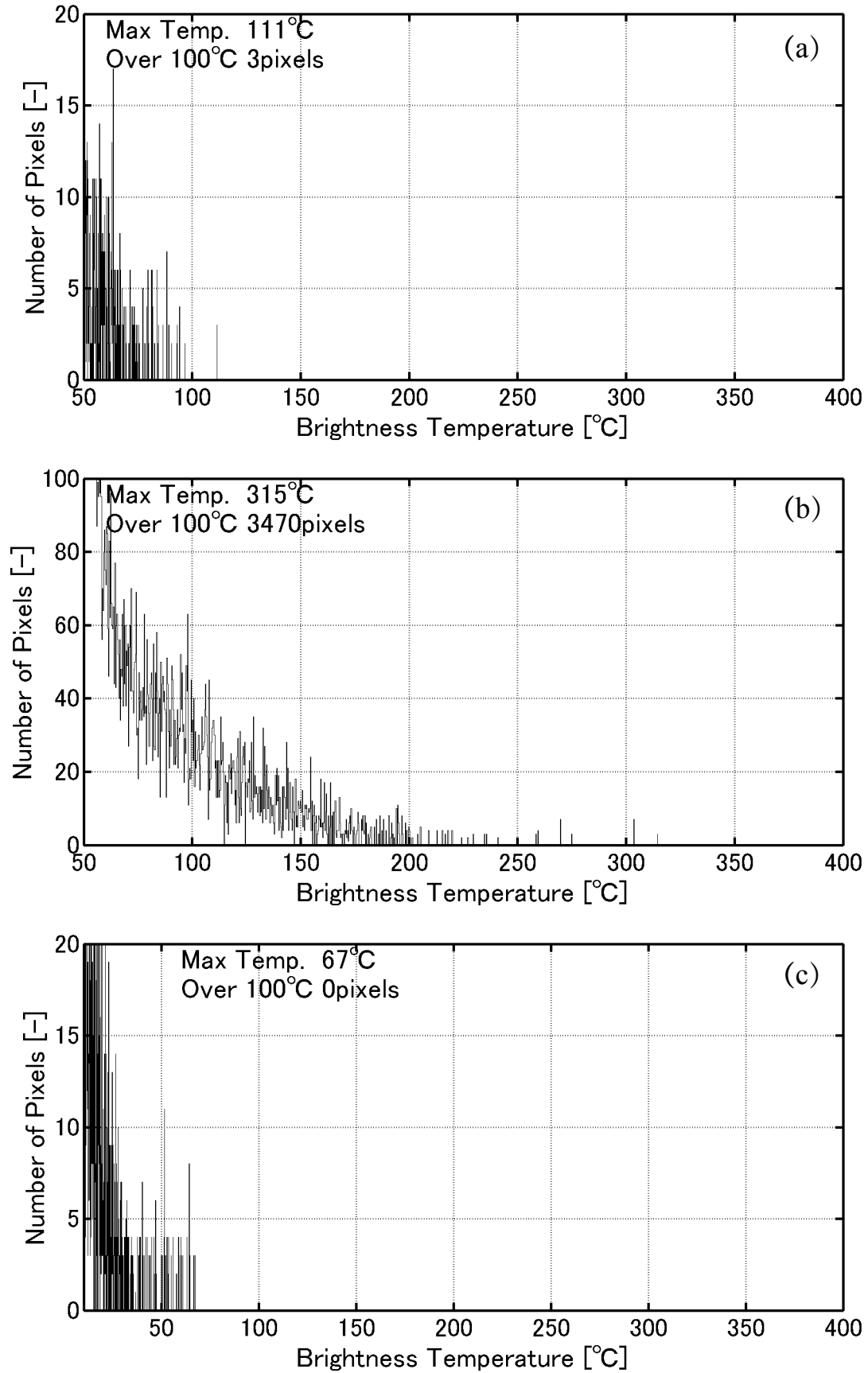


図 7.1 各観測の輝度温度画像からもとめた温度頻度分布

Fig. 7.1 Frequency diagrams of brightness-temperature images from all observations.

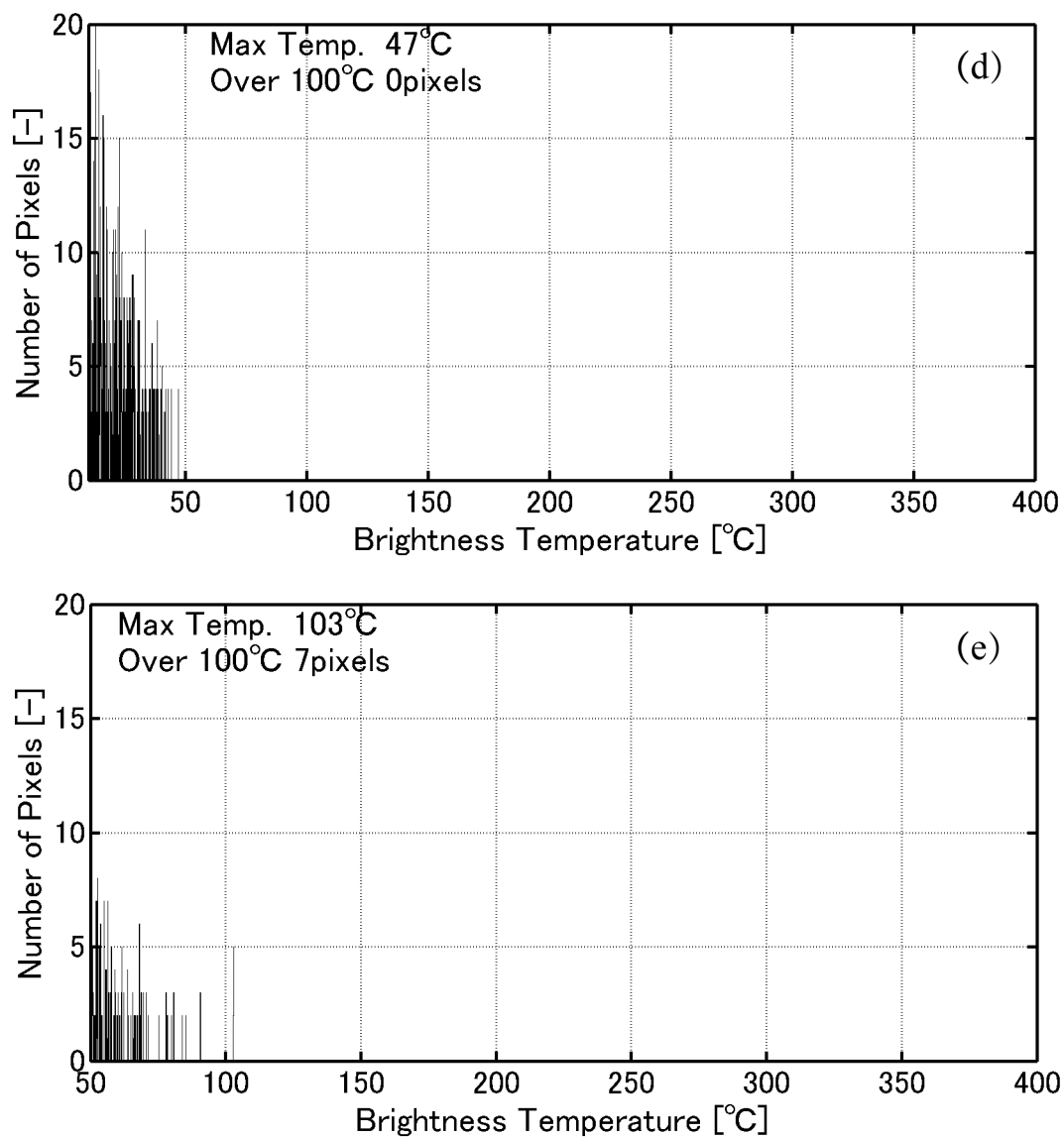


図 7.2 各観測の輝度温度画像からもとめた温度頻度分布

Fig. 7.2 Frequency diagrams of brightness-temperature images from all observations.

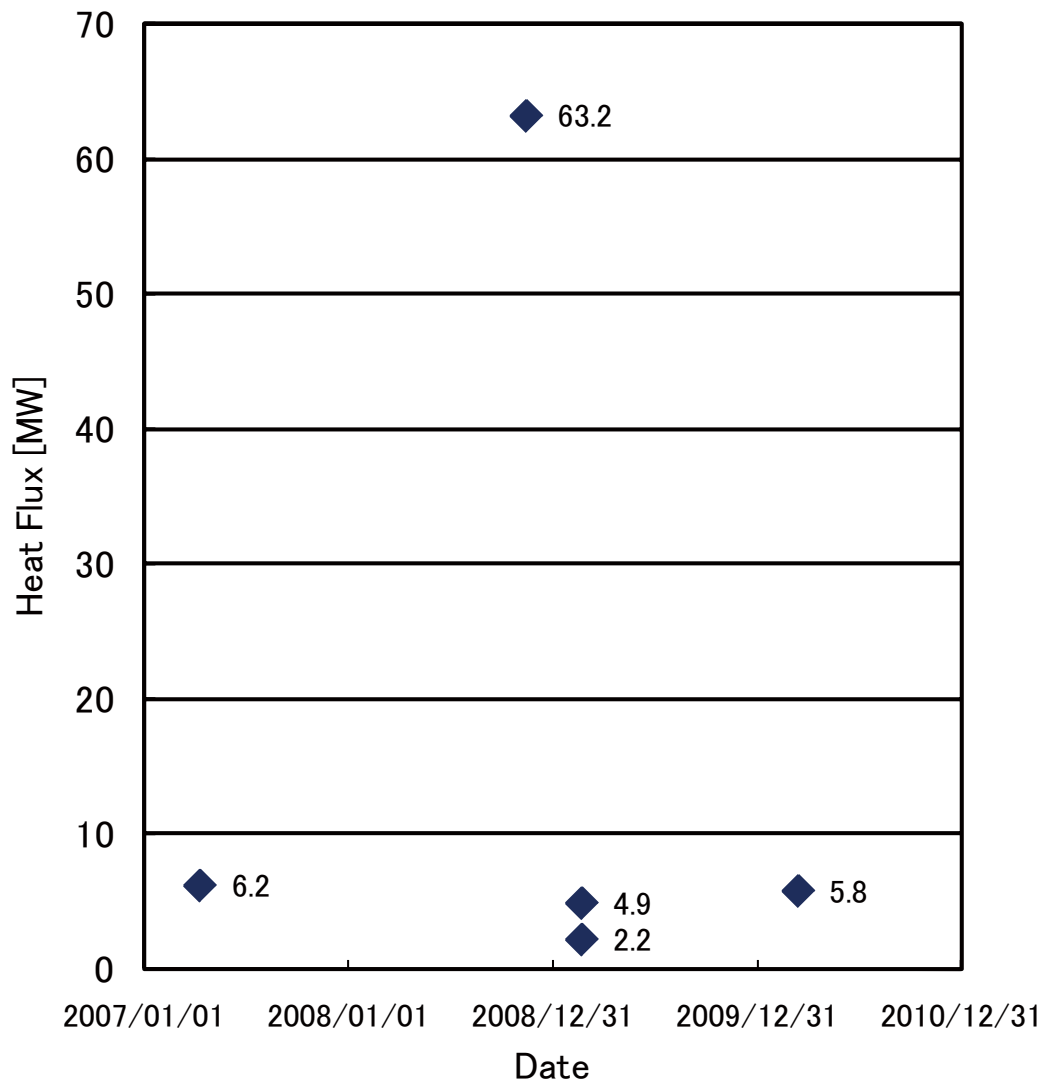


図8 各観測での浅間山火口の放熱率の推移
Fig. 8 Change of heat flux at the Asama Volcano crater.

表3 各観測の放熱率、関岡の式の各値、最高輝度温度および噴気の程度

Table 3 Heat flux data for Sekioka equation, maximum temperature, and plume intensity from all observations.

Flight No.	Date	Heat Flux [MW]	Tt [°C]	To [°C]	σ_{To} [°C]	Tmax (@1001nm) [°C]	Tmax (@1625nm) [°C]	Tmax (@10260nm) [°C]	Plume existence
1	2007/04/12	6.2	30.6	10.8	6.6	-	391	111	small
2	2008/11/14	63.2	35.5	14.1	7.1	801	-	315	middle
3-1	2009/02/21	4.9	2.1	-10.6	4.2	-	-	67	heavy
3-2	2009/02/21	2.2	-0.7	-6.6	2	-	-	47	heavy
4	2010/03/14	5.8	20.6	2.9	5.9	-	-	103	small

• 2010年3月14日

浅間山の火口内において、最高温度 103 °C (10,260 nm の放射輝度より計算) が観測された。浅間山山頂付近の可視擬似カラー画像 (R/G/B=660 nm/565 nm/470 nm) を図 6 (a) に、輝度温度画像 (10,260 nm の放射輝度より計算) を図 6 (b) に、また、位置の把握のために、国土地理院発行の火山基本図を基に作成した地形図を重ねて表示した可視擬似カラー画像を図 6 (c) に、同様の処理をした輝度温度画像を図 6 (d) に示す。これらの比較より、噴気の影響はあるが、火口底の温度分布が把握できる。

4.2 輝度温度頻度分布

図 2 (b) の 2007 年 4 月 12 日の輝度温度画像から求めた輝度温度頻度分布を図 7.1 (a) に示す。図 3 (b) の 2008 年 11 月 14 日の輝度温度画像から求めた輝度温度頻度分布を図 7.1 (b) に示す。図 4 (b) の 2009 年 2 月 21 日 13 時 15 分の輝度温度画像から求めた輝度温度頻度分布を図 7.1 (c) に示す。図 5 (b) の 2009 年 2 月 21 日 13 時 28 分の輝度温度画像から求めた輝度温度頻度分布を図 7.2 (d) に示す。図 6 (b) の 2010 年 3 月 14 日の輝度温度画像から求めた輝度温度頻度分布を図 7.2 (e) に示す。これらより、2007 年から 2008 年にかけての熱的活動の高まりと 2009 年から 2010 年にかけての熱的活動の低下がわかる。

4.3 放熱率

図 2 (b) ~ 図 6 (b) の輝度温度画像から求めた放熱率と関岡の式に関するパラメータを表 3 に示す。放熱率は、2007 年 4 月 12 日が 6.2 MW、2008 年 11 月 14 日が 63.2 MW、2009 年 2 月 21 日 13 時 15 分が 4.9 MW、2009 年 2 月 21 日 13 時 28 分が 2.2 MW、2010 年 3 月 14 日が 5.8 MW である。これらの推移を図 8 に示す。これらより、2007 年から 2008 年にかけての熱的活動の高まりと 2009 年から 2010 年にかけての熱的活動の低下がわかる。

4.4 最高輝度温度の推定

瞬時視野より小さな熱分布が存在する場合には、輝度温度の推定は、より短い波長で分光放射輝度値から導出した温度の方が真の最高温度により近い推定値となる (ただし、異なる波長での温度推定において、推定にかかわるその他の要因が等しいとした場合) (Dozier, 1981)⁴⁾。

一方、昼間の観測では 2,500 nm 以下の波長では太陽光線の反射エネルギーが重畳し、対象の輝度温度推定が困難になる。今回の ARTS の観測では、近赤外波長 (1,685 nm) を用いると、昼間で、対象が 300 °C 以上の熱源であれば、

輝度温度推定が可能であった。また対象が 750 °C 以上の熱源であれば、近赤外波長 (1,001 nm) を用いた輝度温度推定が可能であった。近赤外波長 (1,685 nm) による最高温度の推定結果が得られたのは、2007 年 4 月 12 日の観測で、推定値は 391 °C である。また、近赤外波長 (1,001 nm) による最高温度の推定結果が得られたのは、2008 年 11 月 14 日の観測で、推定値は 801 °C である。これらの結果を表 3 に示す。

5. まとめ

防災科学技術研究所は 2007 年 4 月 12 日、2008 年 11 月 14 日、2009 年 2 月 21 日、2010 年 3 月 14 日に当所の航空機搭載型放射伝達スペクトルスキャナ (ARTS) を用い、浅間山山頂火口周辺の輝度温度等の観測を行った。その結果、浅間山山頂火口内の輝度温度分布を把握できた。これらより、2007 年から 2008 年にかけての熱的活動の高まりと 2009 年から 2010 年にかけての熱的活動の低下がわかる。

謝辞

観測当日の浅間山の火山活動状況 (火山性地震、傾斜変動等) や現地の天候の確認にあたり、気象庁火山課火山監視・情報センターのご支援をいただきました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 實測哲也 (2008) : 火山災害の航空機搭載型光学センサによる観測。計測と制御。47-12, 1022-1027.
- 2) Berk, A., Bernstein, L., and Robertson, D.C. (1989) : MODTRAN: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN 7. Air Force Geophysics Laboratory Technical Report, GL-TR-89-0122.
- 3) Sekioka, M. and Yuhara, K. (1974): Heat Flux Estimation in Geothermal Areas Based on the Heat Balance of the Ground Surface. J.Geophys.Res., 79-14, 2053-2058.
- 4) Dozier, J. (1981): Identification of Subresolution High Temperature Sources Using a Thermal IR Sensor. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47-9, 1311-1318.

(原稿受理 : 2010 年 11 月 25 日)

要 旨

本稿では、防災科研が、航空機搭載型放射伝達スペクトルスキャナ（ARTS）により、2007年4月12日、2008年11月14日、2009年2月21日、2010年3月14日に実施した浅間山の火口内温度分布観測結果について報告する。ARTSにより取得した浅間山山頂火口内の分光放射輝度観測値を大気補正処理し、オルソ幾何補正処理を行った画像データを作成し、輝度温度分布、輝度温度頻度分布、放熱率、最高温度を推定した。その結果、浅間山山頂火口内の熱的活動状況を把握でき、2007年から2008年にかけての熱的活動の高まりと2009年から2010年にかけての熱的活動の低下がとらえられた。

キーワード：輝度温度分布，赤外画像，浅間山，航空機リモートセンシング，ハイパースペクトルスキャナ