

昭和の宇宙に咲くCS「さくら」の開発から学んだこと

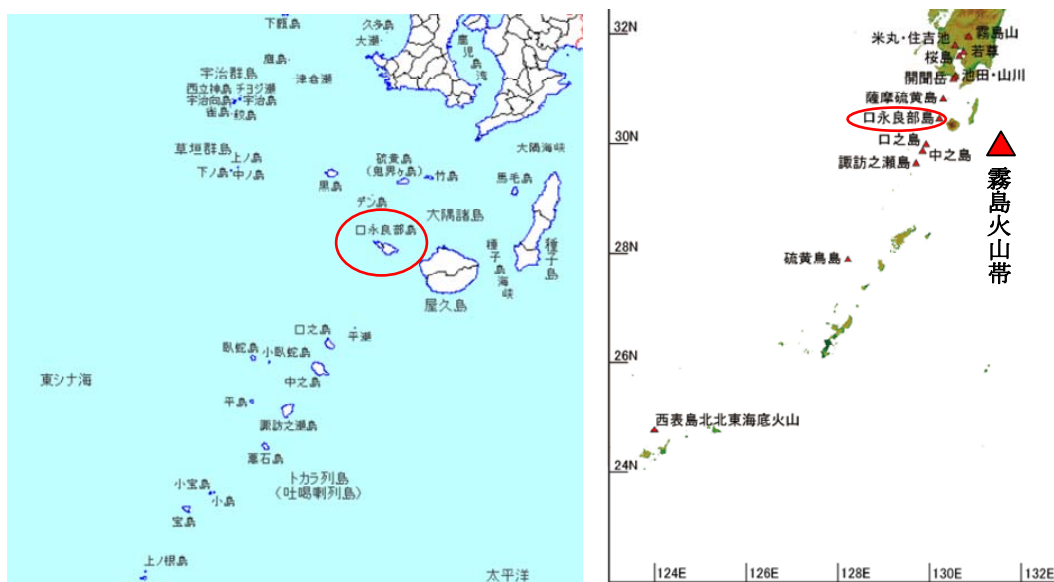
—環太平洋火山帯の国と離島火山地域における衛星通信—

磯 彰夫

Space Japan Review: 報道例『2015年5月29日、噴火で全島避難となった口永良部島(鹿児島県屋久島町)に発令されていた避難指示が、噴火201日後の12月25日一部地域を除いて解除された。指示解除の対象は、住民が多く住む本村、湯向地区など。火口から2～2.5キロの警戒範囲に含まれる前田、向江浜の両地区(8世帯16人)、大雨で集落への道路が寸断されている寝待地区(2世帯4人)は避難指示を継続する。大規模噴火の恐れは低くなっているが、屋久島町は万一の事態に備えて対策を強化する。5月29日の噴火で中断していた避難所「番屋ヶ峰」の改修工事を再開、全住民が最長で5日間滞在できるよう予備の発電機2台を新たに設置する。近くにはヘリポートも建設する。』とありました(出典Q1.1)。噴火警戒レベル5(避難)が発令された離島火山地域・口永良部島-の火山帯の位置を示してください。

(出典Q1.1) 口永良部の避難指示解除 一部住民はフェリーで帰島: <http://www.sankei.com/west/news/151225/wst1512250033-n1.html>

磯氏: 鹿児島県屋久島の西方約12km、北緯30度、東経130度の位置に、気象庁による『常時観測火山』指定の口永良部島があります。位置を図A1.1に示します。(出典A1.1)、(出典A1.2)、(出典A1.3)



図A1.1大隅諸島と口永良部島

口永良部島は、近隣の屋久島、種子島や馬毛島と共に大隅諸島4島を形成しています。

口永良部島新岳(北緯30.45度、東経130.21度)は霧島火山帯に属し、乗鞍火山帯の御嶽山(北緯35.89度、東経137.48度)の南西(方位角230度)908kmにあります。

(出典A1.1)三島村:<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%89%E5%B3%B6%E6%9D%91>

(出典A1.2)活火山分布図:<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/souran/main/kakkazanbunpuzu.pdf>

口永良部島地勢と周辺海域の特長はどのようなものでしょうか。

口永良部島は、ひょうたん型をしており全域が屋久島国立公園となっています。温泉が豊富にあるほか、島の周辺は魚釣りのポイントも多いため、1年を通して観光客が訪れています。湯向温泉、寝待温泉、西之湯温泉及び本村温泉風景を図A2.1に示します。(出典A2.1)、(出典A2.2)、(出典A2.3)、(出典A2.4)



本村温泉

西の湯温泉



寝待温泉

湯向温泉

図A2.1 口永良部島の名湯

口永良部島は、その周辺海域で暖流と寒流が交じり合っているため魚種・数ともに多く豊かな海の資源に恵まれています。サンゴ礁に泳ぐ色鮮やかな熱帯魚、釣及び漁業風景を図A2.2に示します。



図A2.2 サンゴ礁に色鮮やかな泳ぐ熱帯魚、釣及び漁業風景

(出典A2.1)口永良部島:<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%A3%E6%B0%B8%E8%89%AF%E9%83%A8%E5%B3%B6>

(出典A2.2)日本の島へ行こう:<http://imagic.que.jp/>

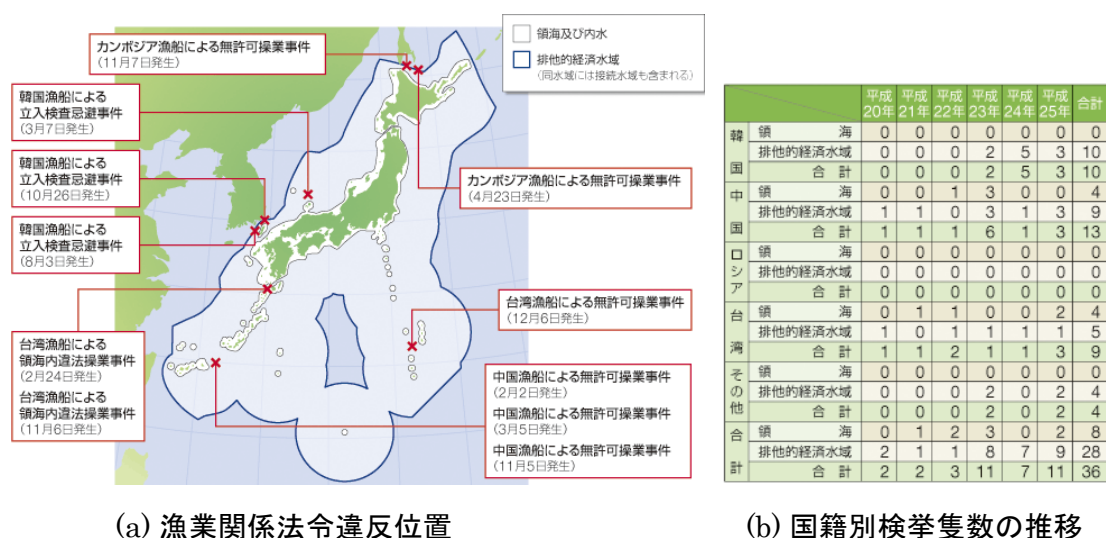
(出典A2.3) 口永良部島の名湯: http://homepage1.nifty.com/tuboyan/ya_erb_ons.htm

(出典A2.4) 口永良部島便り: <http://kerabu.life.coocan.jp/index.html>

2014年に小笠原諸島(東京都小笠原村)と伊豆諸島(東京都 大島町、利島村、新島村、神津島村、三宅村、御蔵島村、八丈町、青ヶ島村)周辺の日本の領海と排他的経済水域(EEZ)で、中国の漁船によるサンゴが大規模に密漁された問題が発生しました。(出典Q3.1) 我が国水域の漁業秩序維持活動動向をご説明ください。

(出典Q3.1) 中国漁船サンゴ密漁問題: <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E6%BC%81%E8%88%B9%E3%82%B5%E3%83%B3%E3%82%B4%E5%AF%86%E6%BC%81%E5%95%8F%E9%A1%8C>

大隅諸島や南西諸島をはじめ、我が国の領海や排他的経済水域(EEZ)における悪質な外国漁船による違法操業により、我が国の貴重な水産資源を乱獲する事案が後を絶ちません。平成25(2013)年の外国漁船による漁業関係法令違反位置を図A3.1(a)に、外国漁船の国籍別検挙隻数の平成20(2008)年から平成25(2013)年までの6年間の推移を図A3.1(b)に示します。(出典A3.1)



図A3.1(a) 外国漁船による漁業関係法令違反位置(a) 及(b) 外国漁船の国籍別検挙隻数の推移

6年間の国籍別検挙隻数合計順位は中国13隻、韓国10隻、台湾9隻、その他4隻となっています。我が国水域の漁業秩序を維持するため、領海や排他的経済水域(EEZ)における外国漁船による違法操業の監視、取締り及び根絶に必要な自動無人化・遠隔監視情報収集のためのMachine to Machine (M2M)、Internet of Things (IoT) 衛星通信の開発・整備・普及促進がもとめられます。

(出典A2.5) 2014年海上保安レポート: http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/books/report2014/html/hajimeni/01_hajimeni14.html

報道例『口永良部島にある、北緯30.44度、東経130.21度、標高520mの新岳は、2014年8月3日に34年ぶりとなる噴火が発生した。翌年の2015年5月29日9時59分には爆発的噴火が発生し、噴煙が火口から約10,000メートルの高さまで達した。この噴火で気象庁は10時7分に噴火警報を発表し、噴火警戒レベルを3(入山規制)から最高レベルの5(避難)に引き上げた。』がありました。(出典Q3.1)、(出典Q3.2) 爆発的噴火に伴う火砕流の影響をお話いただけますか。

(出典Q3.1) 口永良部島の噴火に関する情報: <http://www.pref.kagoshima.jp/aj01/bosai/saigai/kazan-kyohou.html>

(出典Q3.2) 2015年の口永良部島噴火: <https://ja.wikipedia.org/wiki/2015%E5%B9%B4%E3%81%AE%E5%8F%A3%E6%B0%B8%E8%89%AF%E9%83%A8%E5%B3%B6%E5%99%B4%E7%81%AB>

口永良部島一周道路と火砕流地図例を図A3.2に示します。(出典A3.1)(出典A3.2)、(出典3. 3)、(出典3. 4)



図A3.2 口永良部島一周道路と火砕流地図例

「火砕流は、推定時速100キロ以上で斜面を下り、新岳の北西山麓にある口永良部島一周道路を超えて、向江浜地区海岸に達すると共に、役場・診療所・公民館・郵便局・農協・小中学校等があり、島で一番人が住んでいる本村地区の南東部まで火砕流が達しました。また、新岳の西南西山麓にある口永良部島一周道路を横断し、東シナ海に流れ込んだ」といわれています。

(出典A3.1) 口永良部島ガイド協会: <http://kerabu.eco.coocan.jp/link.html>

(出典A3.2) 火山地質図: https://www.gsj.jp/data/VLCGM/DB/V03/geomap/description/volcanogeologicalmap_text.html

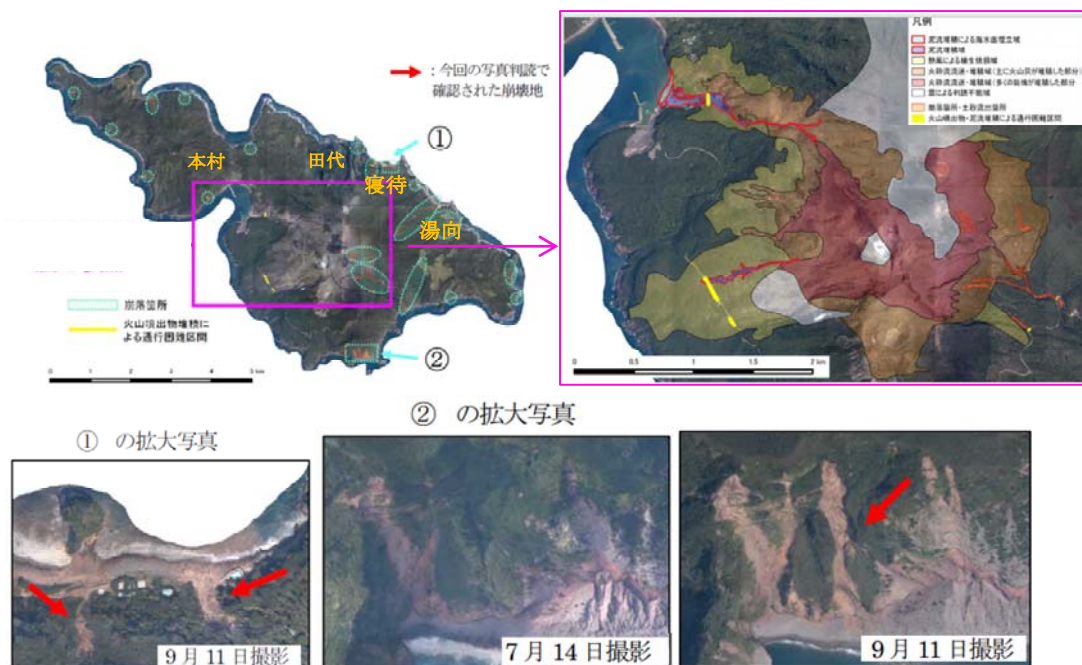
(出典A3.3) 口永良部島で爆発的噴火 住民に島外避難指示・3: <http://ef81hokutosei.way-nifty.com/blog/2015/05/3-e900.html>

(出典A3.4) 口永良部島で爆発的噴火 住民に島外避難指示・5: <http://ef81hokutosei.way-nifty.com/blog/2015/05/5-52a3.html>

(出典A3.5) 「犬が走り出し追いかけたら火砕流に遭遇した」70歳男性決死の救出劇に消防団活躍: <http://www.sankei.com/west/news/150606/wst1506060044-n1.html>

噴火直後に、一次災害火砕流が発生しました。その後、噴火堆積物が引き起こした噴火二次災害をご説明いただけますか。

無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)による、7月14日(噴火47日後)の撮影に引き続き、9月8日(噴火103日後)、11日(噴火106日後)、12日(噴火107日後)に撮影した空中写真の範囲を判読した結果が10月16日(噴火141日後)に発表されました。(出典A4.1)発表例を図A4.1に示します。



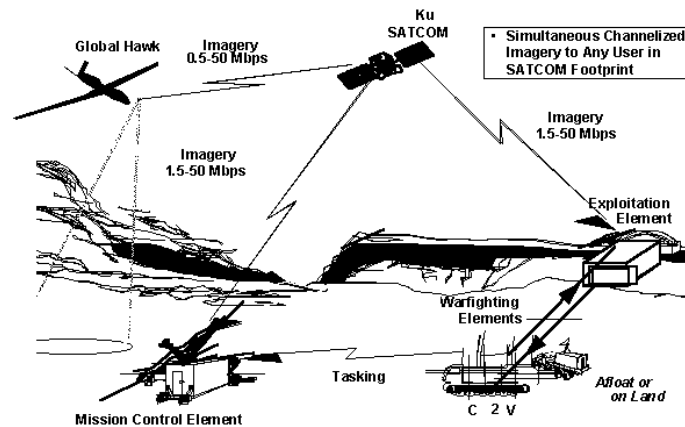
図A4.1無人航空機(UAV)により、撮影した空中写真例

(1)島の随所で噴火後の降雨により泥流や崩壊が発生しており、周回道路が寸断されている箇所があること、(2)噴火時の火砕流や熱風により四方の山麓で樹木がなぎ倒され、焼損していること、(3)噴火による火砕流堆積域は山頂部を中心に広範囲に及んでいること等がわかりました。

(出典A4.1)口永良部島の火山活動に関する情報: <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h27-kuchinoerabu-index.html>。口永良部島の写真判読について: <http://www.gsi.go.jp/common/000108360.pdf>

公表例『UAVの飛行は、鹿児島県三島村(竹島・硫黄島(鬼界ヶ島)・黒島の有人島及び新硫黄島・デン島の無人島から成り立つ。)の協力を得て、口永良部島の北38kmに位置する三島村硫黄島の村営飛行場(滑走路600m)から実施いたしました。』とあります。(出典A4.1) 火山活動の状況変化に即応し、火山カメラ Machine to Machine (M2M), Internet of Things (IoT) 情報がリアルタイムで伝達可能なUAV衛星通信システムの導入が期待されています。UAV衛星通信システム例についてお話しいただけますか。

Ku帯UAV衛星通信システム構成例を図A5.1に示します。(出典A5. 1)



C2V: Command and Control Vehicle: UAV指揮統制ビークル(船上又は陸上)

図A5.1 Ku帯UAV 衛星通信システム構成例

UAV Global Hawk機首上部の盛り上がった部分にはKu帯衛星通信用のアンテナ(開口径は1.21m=48 inch×0.0254mφ)が収められています。Ku帯UAV衛星通信システムは、UAV指揮統制ビークル(船上又は陸上)及びUAV ミッション・コントロール・エレメント(Mission Control Element)がフォワードリンク回線を用い、データレート200kbpsで、UAVを指令・制御します。

UAV収集センサーデータは、リターンリンク回線を用い、UAV地球局(Exploitation Element)へ送信します。リターンリンク回線データレートは1.544 Mbps (T-1,J-1) ~ 50Mbpsで、UAV取得高解像度合成開口レーダフレーム及び電子光学/赤外線及び黒白、またはビデオ信号を伝送します。(出典A5. 2)

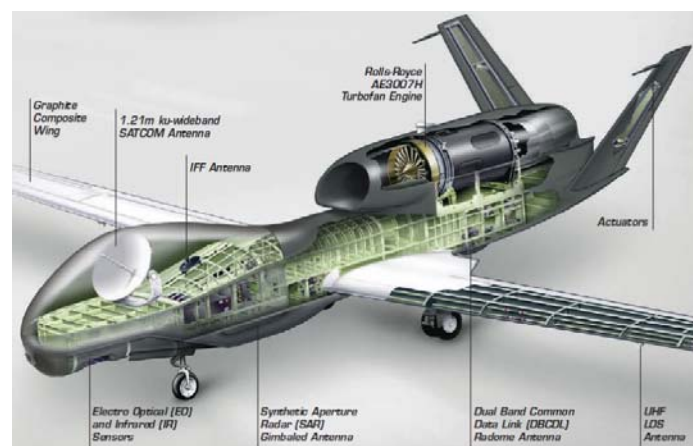
(出典A5. 1) SECTION 6 - COMMUNICATION INTEGRATION AND INTEROPERABILITY:

http://fas.org/irp/doddir/usaf/conops_uav/part06.htm

(出典A5. 2) Global Hawk – Integrated Communications System: <http://www.tmsdportal.com/products-services/docoutput.aspx?id=1319>

UAV Global Hawkの構成と諸元例をご説明ください。

UAV Global Hawkの構成例を図A6.1及び諸元例表A6.1に示します。(出典A6.1)、(出典A6.2)、(出典A6.3)、(出典A6.4)、(出典A6.5)



Identification, friend or foe: IFF

図A6.1 UAV Global Hawkの構成例

表A6.1 UAV Global Hawkの諸元例

巡航速度	343kt(635 km/h)
実用上昇限度	19,800m
最大航続距離	22,779 km
合成開口レーダー	Synthetic Aperture Radar(SAR)ストリップ・モードで 1m、SAR スポット・モードでは 30.5cm の解像度を有する。地上移動目標識別 (Ground Moving Target Indication :GMTI)モードでは、20-200km の範囲内を最低 4kt(時速 7.4km/h) の速度で飛行し、移動目標の識別を行う能力を有している。
電子光学/赤外線 Electro-Optical/ Infrared (EO/IR) セン サー	1m の分解能で約 40,000 平方 nautical mile (nm) (100,000 km ²) に渡っての搜索・監視活動が可能で、0.3m の分解能で最大 1,900 のスポット画像を取得する能力を備えている。目標の探知精度は、半平均誤差半径 (Circular Error Probability : CEP) が 20m とされている。

巡航速度は635 km/hなので、鹿児島県鹿屋市から口永良部島までの片道飛行時間は約11分(=60×119/635)となります。また、実用上昇限度は19,800mなので、口永良部の新岳爆発的噴火による噴煙の高さの1.9(=19800/10,000)倍及び対流圏(0 - 11 km)最高高度の1.7(=19/11)倍の高度から空中撮影ができます。さらに、最大航続距離が22,779 kmは、鹿児島県海岸線距離の8.3倍(=22,779/2,722)の日本の海岸線距離の67%(100×22,779/33,889)となります。(出典A6. 6)

(出典A6.1) Iran Army gains capability to intercept, redirect enemy, missiles:

<http://defence.pk/threads/iran-army-gains-capability-to-intercept-redirect-enemy-missiles.176953/page-8>

RQ-4 Global Hawk Maritime Demonstration system:

<http://www.northropgrumman.com/Capabilities/RQ4Block10GlobalHawk/Documents/GHMD-New-Brochure.pdf>

(出典A6.2) RQ-4: <https://ja.wikipedia.org/wiki/RQ-4>

(出典A6.3) Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk: https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_RQ-4_Global_Hawk

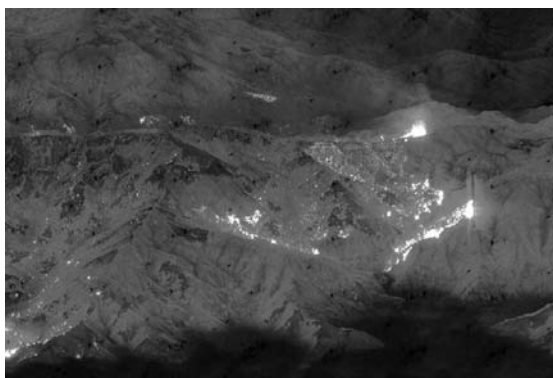
(出典A6.4) RQ-4 Global Hawk: <http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104516/rq-4-global-hawk.aspx>

(出典A6.5) Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk: https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_RQ-4_Global_Hawk#Model_396

(出典A6. 6) 日本の海岸線距離: https://www.kaijipr.or.jp/mamejiten/shizen/shizen_21.html

Global Hawkの電子光学/赤外線Electro-Optical/Infrared (EO/IR) センサーはどのようなものですか。

Global Hawkによる、米国北カリフォルニアの山林火災の空中写真例を図A7.1(a)(出典A7.1) 及びハイチ地震(出典A7.2)における国立大聖堂の崩壊状況の空中写真例を図A7.1(b)(出典A7.3)に、それぞれ示します。



図A7.1 (a)山林火災の空中写真例

(b)国立大聖堂の崩壊状況の空中写真例

数年前から干ばつが続く米国西部で複数の大規模な森林火災(山火事)が発生しています。とくに深刻な北カリフォルニアでは2015年7月中旬から落雷などにより山火事が相次いで発生。これまでに約5万~8万ヘクタールの山林が焼失し、住宅約100棟が焼失、消防隊員1名殉職という甚大な被害となっていることが伝えられています。(出典A7.1)

ハイチ地震は、東日本大震災の約1年前、2010年1月、宮城県石巻市から東南東12,700km(:赤道一周距離の3分の1($=12,793/40,075=1/3.1$))の地域で発生しました。

『ハイチでの2010年1月12日(ハイチ現地時間)地震発生を受け、医師、看護師の団員により構成される総勢25名の日本政府の医療チームが1月16日21時頃、成田よりJALチャーター機でマイアミに向け出発し、現地での治安状況、安全確保対策等を確認した上、マイアミからハイチまで自衛隊輸送機(C-130)で輸送され2週間の活動を実施した。また、日本赤十字社は、国際赤十字・赤新月社連盟の要請で、1月17日から約6カ月間にわたり、66人の医療チームと基礎保健ERU(緊急対応ユニット)を派遣した。』ことが知られています。(出典A7.2)

UAV Global Hawkは、2011年3月11日に発生した東日本大震災(東北地方太平洋沖地震とそれを原因とする災害)に対して行う災害救助・救援および復興支援を活動内容とするOperation Tomodachiにおいて、上空から福島第一原発の被害状況の把握をしました。(出典A7.2)、(出典A7.3)、(出典A7.4)、(出典A7.5)、(出典A7.6)

(出典A7.1)2015年米国(カリフォルニア)森林火災(山火事):<http://www.bo-sai.co.jp/california.html>

(出典A7.2)2010 Haiti earthquake:https://en.wikipedia.org/wiki/2010_Haiti_earthquake:ハイチ地震(2010年):[https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%8F%E3%82%A4%E3%83%81%E5%9C%B0%E9%9C%87_\(2010%E5%B9%B4\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%8F%E3%82%A4%E3%83%81%E5%9C%B0%E9%9C%87_(2010%E5%B9%B4))

ハイチ(ハイチ大地震緊急救援・復興支援)、西半球の最貧国、ハイチの首都を大地震が直撃:http://www.jrc.or.jp/activity/international/results/100101_001016.html

(出典A7.3)Global Hawk:http://www.northropgrumman.com/MediaResources/Pages/Photo.aspx?pid%3DGL-10001_073%26rel%3D%2F%26name%3DPhotos

(出典A7.4)Assistance by U.S. Forces in the Aftermath of the Great East Japan Earthquake (Operation Tomodachi):http://www.mofa.go.jp/j_info/visit/incidents/pdfs/tomodachi.pdf

(出典A7.5)Global Hawk Operation and Program Update:<https://www.uvsr.org/docs/Global-Hawk.pdf>

(出典A7.6)Global Hawk served new role in Japan aftermath:<http://archive.airforcetimes.com/article/20110814/NEWS/108140323/Global-Hawk-served-new-role-Japan-aftermath>、<https://www.youtube.com/watch?v=y4Dunh4i0H8>

UAV Global Hawk等を利用されている典型的なKu帯静止通信衛星諸元及び衛星回線設計諸元例をご説明ください。

Global Broadcast Service (GBS) Joint Program において、利用されている3衛星軌道位置のKu帯静止通信衛星諸元例を表A8.1に示します。(出典A8.1)、(出典A8.2)、(出典A8.3)、(出典A8.4)、(出典A8.5)、(出典A8.6)

表A.8.1 Ku帯静止通信衛星諸元例

衛星軌道位置	衛星名	打上げ時期(年)	打上げ時質量(t)	設計寿命(年)	衛星発生電力(kW)	衛星中継器台数及び EIRP
15°W (245°E)	Orion 2 /Telstar 12	1999	3.8	13	10.6	Ku 帯中継器×38 台 Ku 帯 EIRP: 42～50dBW
	Telstar 12V	2015	4.9	15	11	Ku 帯中継器×52 台 Ku 帯 EIRP: 44～56dBW
127°W (233°E)	Galaxy 13 / Horizons 1	2003	4.0	15	9.9	Ku 帯中継器×24 台 Ku 帯 EIRP: 42～50dBW C 帯中継器×24 台 C 帯 EIRP: 32～44dBW
48°E	Eutelsat W6→	1999	2.4	12	不明	Ku 帯中継器×24 (+10)
	Eutelsat 48D→	2008	3.4	15	4	Ku 帯中継器×32 台 Ku 帯 EIRP: 40～52

2015年11月24日に、H-2Aロケット29号機により、鹿児島県の種子島宇宙センターから打ち上げられた Telstar 12V 衛星は、打上げ時質量4.9トン、衛星発生電力11kW、設計寿命15年、Ku帯中継器×52台及び Ku帯EIRP: 44～56dBW です。(出典A8.7) 1.2mφアンテナ地球局←→Ku /Ku帯, Ka /Ku帯静止通信衛星←→7.6mφアンテナ地球局からなる衛星通信回線におけるKu /Ku及びKa /Ku帯衛星回線設計諸元例を表A8.2に示します。(出典A8. 8)

表A8.2 Ku /Ku帯及びKa /Ku帯衛星回線設計諸元例

項目	Ku/Ku フォワー ドリンク	Ku/Ku リター ンリンク	Ka/Ku フォワー ドリンク	Ku/Ka リターンリ ンク
伝送帯域(MHz)	10	10	10	10
変調方式	QPSK	8PSK	8PSK	8PSK
情報レート(Mbps)	10	20	26.667	26.667
前方誤り訂正レート	0.5	0.667	0.889	0.889
上り回線周波数(GHz)	14.157	14.219	29.314	14.188
地球局送信アンテナ開口径(mφ)	7.6	1.2	7.6	1.2
地球局送信アンテナ利得(dBi)	59.2	43.2	65.5	43.2
地球局送信電力(dBW)	15	21	12.5	12
衛星受信アンテナ利得(dBi)	28.1	29	48	37.98
衛星受信システム雑音温度(K)	400	400	800	600
下り回線周波数(GHz)	11.857	11.919	11.138	18.736
衛星送信アンテナ利得(dBi)	27.5	27.5	36.98	45
衛星送信電力(dBW)	11.1	11.1	7.9	7.1
地球局受信アンテナ開口径(mφ)	1.2	7.6	1.2	7.6
地球局受信アンテナ利得(dBi)	41.6	57.7	41.0	61.6
地球局受信システム雑音温度(K)	150	150	150	300

Ku /Ku帯及びKa /Ku帯衛星回線設計諸元例として、

- (1) 14.1/11.1GHzフォワードリンク回線(アンテナ径7.6mφ地球局→14.1/11.1GHz帯中継器→アンテナ径1.2mφ地球局)が情報レート10Mbps伝送及び14.2/11.9GHzリターンリンク回線(アンテナ径1.2mφ地球局→14.2/11.9GHz帯中継器→アンテナ径7.6mφ地球局)が情報レート20Mbps伝送、
- (2) 29.3/11.1GHzフォワードリンク回線(アンテナ径7.6mφ地球局→29.3/11.1GHz帯中継器→アンテナ径1.2mφ地球局)が情報レート26.6Mbps伝送、及び14.1/18.7GHzリターンリンク回線(アンテナ径1.2mφ地球局→14.1/18.7GHz帯中継器→アンテナ径7.6mφ地球局)が情報レート26.6Mbps伝送の事例があります。

(出典A8.1) GLOBAL BROADCAST SERVICE (GBS) JOINT PROGRAM:

<http://www.losangeles.af.mil/library/factsheets/factsheet.asp?id=7853>

(出典A8.2) Galaxy 13 / Horizons 1: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/galaxy-13.htm

<https://satellitecoverage.net/galaxy-13-horizons-1-coverage-maps-footprints/>

(出典A8.3) Orion 2 / Telstar 12: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/orion-2.htm

<https://satellitecoverage.net/telstar-12-coverage-maps-footprints/>

(出典A8.4) Telstar 12V (Telstar 12 Vantage): http://space.skyrocket.de/doc_sdat/telstar-12v.htm

[https://www.telesat.com/sites/www.telesat.com/files/satellite/](https://www.telesat.com/sites/www.telesat.com/files/satellite/telesat_satellitebrochure_telstar12v_2.pdf)

[telesat_satellitebrochure_telstar12v_2.pdf](https://www.telesat.com/sites/www.telesat.com/files/satellite/telesat_satellitebrochure_telstar12v_2.pdf)

(出典A8.5) Eutelsat W2, W3 (W6), W5 / Eutelsat 21A → 48C, 70A → 25C → 33B:

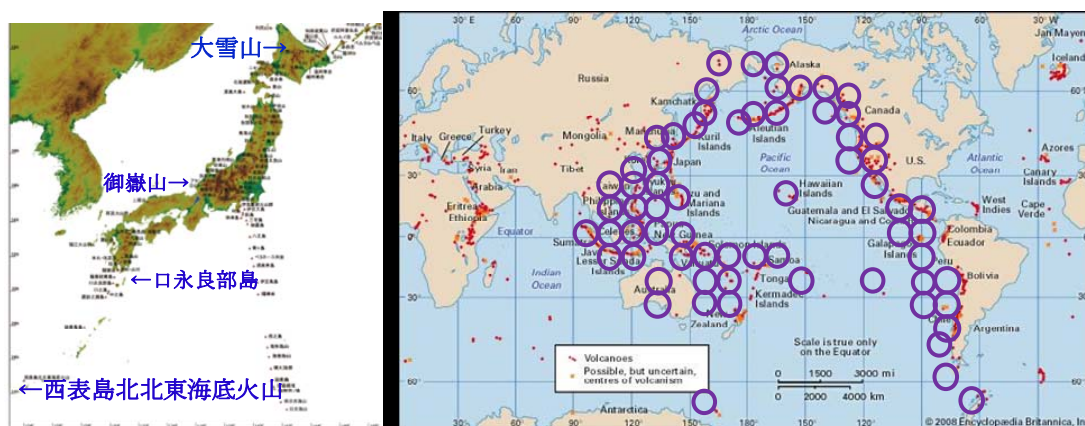
http://space.skyrocket.de/doc_sdat/eutelsat-w.htm

(出典A8.6) Eutelsat W2M → Eutelsat 48B → Eutelsat 28B → Eutelsat 48D / Afghansat 1:
http://space.skyrocket.de/doc_sdat/eutelsat-w2m.htm
<https://satellitecoverage.net/afghansat-1-coverage-maps-footprints/>
 (出典A8.7) Launch of H-IIA on first Commercial Mission with Telstar 12V (F-29):
<https://www.youtube.com/watch?v=cDRJAIJaOto>
 (出典A8.8) APPLICATION FOR AUTHORITY TO LAUNCH AND OPERATE TELSTAR 12
 VANTAGE SATELLITE AT 15° W.L.: [http://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?](http://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=1053742)
[attachment_key=1053742](http://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=1053742)

環太平洋火山帯の国と離島火山地域における Ku帯UAV衛星通信例をお話いただけますか。

UAV搭載衛星通信機器の小型化、軽量化及び低消費電力化のため、UAV衛星通信はKu帯スポットビーム回線が必要となります。スポットビームのカバレッジ直径は1,500 NM(2,778km)です。(出典A5. 1) このスポットビームは、南西諸島の西表島北北東海底火山(北緯24度、東経123度)から北海道の常時観測火山大雪山(北緯43度、東経142度)までをカバーできます。スポットビームの中心が口永良部島(北緯30°、東経130°)の場合、カバレッジは東経115.5°～144.5°及び北緯17.5°～42.5°となります。

環太平洋火山帯におけるKu帯UAV衛星通信カバレッジ例を図A9.1示します。(出典9. 1)



図A9.1 環太平洋火山帯におけるKu帯UAV衛星通信スポットビーム配置例

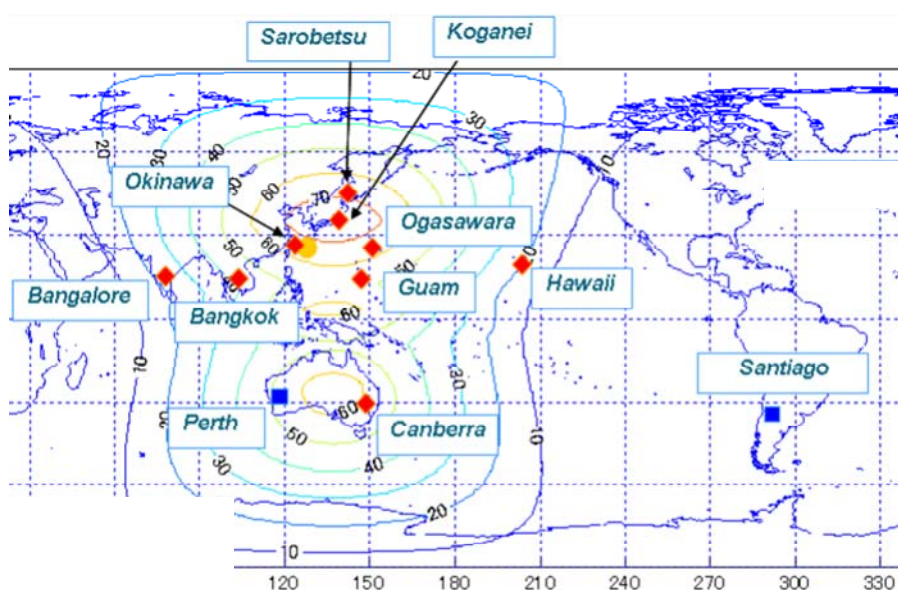
環太平洋火山帯におけるKu 帯UAV衛星通信スポットビームサービスエリアは、南北緯度60度を越えた火山地域に拡大できるので、降雨減衰量(出典9. 2) 大気吸収損失(出典9. 3) シャドーイング減衰量(出典9. 4)などの低減が期待できる高仰角Ku 帯UAV衛星通信回線設定のための準静止通信衛星編隊システム(出典9. 5)の開発・整備・普及促進が求められます。

(出典9. 1) Volcano: <http://www.britannica.com/science/volcano>
 (出典9. 2) SIMULATING SATELLITE DOWNLINK DATA LOSS AND RECOVERY DUE TO RAIN ATTENUATION: <http://informs-sim.org/wsc13papers/includes/files/242.pdf>
 (出典9. 3) Geographic-Based Satellite Anti-Jam Strategies: https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/10_2505.pdf
 (出典9. 4) Propagation for Space Applications: <http://www.e-fermat.org/files/multimedias/154dfbdc387a09.pdf>
 (出典9. 5) Inclined geosynchronous (I-GEO) communications satellite for Asia Pacific region, AIAA-98-1366, <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.1998-1366>

環太平洋火山帯北半球の主な火山地点における静止通信衛星の高仰角特性例について説明していただけますか。

環太平洋火山帯北半球における静止通信衛星(衛星軌道傾斜角が0.1度以下で衛星直下点軌跡が赤道上に静止する24時間周期の衛星)と準静止通信衛星(衛星軌道傾斜角が中緯度から高緯度の範囲にあり、衛星直下点軌跡が地球上を南北東西に運動し、8の字の形を描く24時間周期の衛星)との仰角特性比較例を示します。

通信・測位衛星「みちびき」は、近地点約32,000km、遠地点約40,000km、軌道傾斜角約40度(39～47度の幅で変動、初期は41度)、離心率約0.1及び軌道周期23時間56分の「準天頂軌道」衛星です。準天頂衛星「みちびき」は、準静止通信衛星の非対称8の字軌道衛星の代表例で、東経135度付近を中心とし日本上空で8の字を描きます。主な地点の準天頂衛星初号機「みちびき」に対する仰角例を図A10.1 に示します。(出典A10.1)、(出典A10.2)、(出典A10.3)



図A10.1 主な地点の準天頂衛星初号機「みちびき」に対する仰角

環太平洋火山帯北半球における主な火山地点の東経135度の静止軌道衛星「CSさくら」及び東経135度付近を中心とし日本上空で8の字を描く準天頂衛星「みちびき」軌道位置に対する仰角比較例を表A10.1に示す。(出典A10.4)、(出典A10.5)、(出典A10.6)

表A10.1主な火山位置の静止軌道衛星「CSさくら」軌道位置と
準天頂衛星「みちびき」軌道位置に対する仰角比較例

環太平洋火山帯北半球における主な火山例	「CSさくら」 軌道位置	「みちびき」 軌道位置
リダウト山（アラスカ州、北緯 60.4 度、西経 152.7 度） 1989 年 12 月 KLM オランダ航空 867 便が火山灰でエンジン停止事故。2009 年 3 月噴火、火山灰は上空 15km に達した。	1 度	25 度
ベニアミノフ山（アラスカ州、北緯 56.1 度、西経 159.3 度） 現在も活発な活動が続いている成層火山である。	4.7 度	30 度
シヴェルチ火山（カムチャッカ半島、北緯 56.6 度、東経 161.3 度） 山頂に溶岩ドームを形成するタイプの火山活動をする活火山であるため標高は頻繁に変化している。	21.5 度	45 度
阿頼度山（千島列島、北緯 50.8 度、東経 155.5 度） 1972 年 6 月 18 日から 9 月 11 日までの大噴火で、4,500 万立方メートルの溶岩と、100 立方メートルの火山灰を放出した。	28.7 度	60 度
利尻山（北海道、北緯 45.1 度、東経 141.2 度） 南山麓で 8 千～2 千年前以前に起きた噴火でマールやスコリア丘を形成して以降、活動を休止中。	37.6 度	65 度
御嶽山（長野・岐阜県、北緯 35.8 度、東経 137.4 度） 2014 年 9 月 27 日に 7 年ぶりに噴火。山頂付近にいた登山客が巻き込まれ、犠牲死者数は 58 人に達した。	48.3 度	75 度
口永良部島（鹿児島県、北緯 30.4 度、東経 130.2 度） 2015 年 5 月 29 日 新岳で爆発的噴火。噴煙高さ 9,000m 以上。火砕流が海岸まで到達し、噴火警戒レベル 5（避難）が発表され、全島民が避難した。	54 度	70 度
ピナツボ山（フィリピン、ルソン島、北緯 15.1 度、東経 120.3 度） 1991 年 6 月の噴火はおよそ 400 年振りに起き、周辺の 5 州におよび、被害者総数 120 万人に達する多大な被害を出した。火山泥流は 1991 年の噴火後も毎年のように発生し続けている。	65 度	50 度

リダウト山（米国アラスカ州）の135度の静止軌道衛星に対する仰角は1度で衛星通信回線設定が困難です。しかし、軌道傾斜角約40度、東経135度付近を中心とし日本上空で8の字軌跡の準天頂衛星に対する仰

角は25度となり、衛星通信回線設定が可能と考えます。そして、火山活動変化に即応し、火山カメラ Machine to Machine (M2M), Internet of Things (IoT) 情報がリアルタイムで伝達可能なUAV衛星通信システムの実現が望まれます。

また、準天頂衛星通信は、高緯度における静止衛星通信サービス中断例「米国アラスカとカナダの国境エリア上空は通信のための衛星がカバーしておりません。飛行ルートによっては通信が数十分間中断することがございます。」(出典A10.7)等を解決し、日本—北米航空路等におけるシームレスなインターネットサービス拡充に寄与するものと考えます。

他方、低緯度のピナツボ山は、静止軌道衛星に対する仰角が65度に対して、軌道傾斜角約40度、東経135度付近を中心とし日本上空で8の字軌跡の準天頂衛星に対する仰角は50度と小さい。従って、静止軌道衛星が低緯度から中緯度まで、及び準天頂衛星群が中緯度から高緯度までをカバーし、衛星編隊飛行を統合運用することにより、低緯度から高緯度までのエリアにおいて、シームレスな高仰角衛星通信回線設定が可能になるものと考えます。

(出典A10.1) 準天頂衛星初号機「みちびき」概要: http://www.jaxa.jp/countdown/f18/overview/michibiki_j.html

(出典A10.2) 準天頂衛星: <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%BA%96%E5%A4%A9%E9%A0%82%E8%A1%9B%E6%98%9F>

みちびき特設サイト、準天頂衛星の軌道: http://www.jaxa.jp/countdown/f18/overview/orbit_j.html

(出典A10.3) 準天頂衛星初号機“みちびき”利用プログラムの紹介: http://www.wakayama-u.ac.jp/ifes/news/data/20101218-jaxa_michibiki.pdf

(出典A10.4) Satellite finder with magnetic north, azimuth & elevation calculator: <http://www.satsig.net/ssazelm.htm>

(出典A10.5) 火山の一覧 (日本):

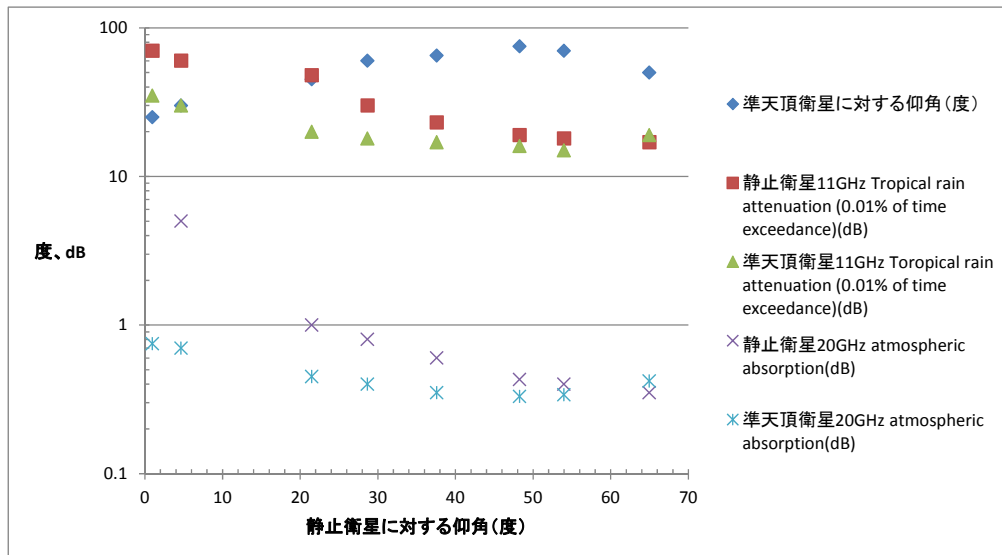
[https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%81%AB%E5%B1%B1%E3%81%AE%E4%B8%80%E8%A6%A7_\(%E6%97%A5%E6%9C%AC\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%81%AB%E5%B1%B1%E3%81%AE%E4%B8%80%E8%A6%A7_(%E6%97%A5%E6%9C%AC))

(出典A10.6) 火山の一覧: <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%81%AB%E5%B1%B1%E3%81%AE%E4%B8%80%E8%A6%A7>

(出典A10.7) https://www.jal.co.jp/inflight/inter/sky_wifi/, JAL SKY WiFi(IEEE802.11-WLAN-WiFi)の取り組みについて～機内インターネット接続サービス～: https://www.ituaj.jp/wp-content/uploads/2013/04/2013_05-3_spsky.pdf

衛星仰角、降雨減衰量及び大気吸収損失に関する静止衛星「CSさくら」軌道位置と準天頂衛星「みちびき」軌道位置との比較例をお話いただけますか。

衛星仰角、降雨減衰量及び大気吸収損失に関する静止衛星「CSさくら」軌道位置と準天頂衛星「みちびき」軌道位置との比較例を図A11.1に示します。(出典A11.1)、(出典A11.2)



図A11.1 衛星仰角、降雨減衰量及び大気吸収損失に関する
静止衛星「CSさくら」軌道位置と準天頂衛星「みちびき」軌道位置との比較例

(1) 口永良部島(鹿児島県、北緯30.4度、東経130.2度)の場合

口永良部島は、Rain zone map, based on Rec. ITU-R PN.837-1において、N zoneの北端に属し、Percentage of time (%)が0.01%の時、Rain rate R (mm/h) ITU-R P.837は95mm/hです。(出典A11.3)

静止衛星に対する仰角は54度、準天頂衛星に対する仰角は70度で仰角の改善量は16(=70-54)度です。11GHz Tropical rain attenuation (0.01% of time exceedance)に関しては静止衛星が18dB、準天頂衛星が15dB で降雨減衰の改善量3(=18-15)dBを情報レート的高速化に割当てれば、種々のMachine to Machine (M2M), Internet of Things (IoT) サービス拡充に寄与できます。

(2) ベニアミノフ山(米国アラスカ州、北緯56.1度、西経159.3度)の場合

ベニアミノフ山は、Rain zone map, based on Rec. ITU-R PN.837-1において、D zoneの北端に属し、Percentage of time (%)が0.01%の時、Rain rate R (mm/h) ITU-R P.837は19mm/hです。(出典A11.3)

静止衛星に対する仰角は4.7度、準天頂衛星に対する仰角は30度で仰角の改善量は25.3度(=30-4.7)です。20GHz atmospheric absorption (dB) に関しては静止衛星が5 dB、準天頂衛星が0.7 dBで大気吸収損失の改善量4.3(=5-0.7)dBを衛星中継器送信電力に割当てれば、衛星中継器台数の増加に寄与できます。

(出典A11.1) EARTH-SKY LINK QUALITY PERFORMANCE FOR FIXED AND MOBILE SCENARIOS IN TROPICAL REGIONS: <http://www.jpier.org/PIERC/pierc39/06.13022703.pdf>

(出典A11.2) Geographic-Based Satellite Anti-Jam Strategies: https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/10_2505.pdf

(出典A11.3) Implementation Notes: <http://www.racom.eu/eng/products/m/ray/calcul.html>

Space Japan Review: 環太平洋火山帯の国と離島火山地域における衛星通信に関する大変興味深いお話ありがとうございました。■