

SPACE JAPAN INTERVIEW

昭和の宇宙に咲くCS「さくら」の開発から学んだこと

－2014年(H26)豪雪災害や豪雨災害の課題と衛星通信－

磯 彰夫

Space Japan Review誌:報道例として「運輸多目的衛星「ひまわり7号」の観測運用を行っている気象衛星通信所(埼玉県比企郡鳩山町)において、2014年2月15日04時00分の観測から08時00分の間、降雪の影響により観測画像データが受信できない状況が9回発生しました。原因は、降雪及びアンテナに付着した雪により、1. 6GHz帯電波の受信レベルが下がり、正常な受信が行えなかったことによるものです(出典Q1-1)、(出典Q1-2)」を紹介していただきました。

衛星通信周波数帯の降雨(降雪)減衰量は、上り回線周波数/下り回線周波数がともに、6/4GHz帯、14/12GHz帯、30/20GHz帯、50/40GHzと周波数が高くなるに従い増加します。

50/40GHz(Q)帯、30/20GHz(Ka)帯は、14/12GHz(Ku)帯、6/4GHz(C)帯に比べて、広帯域特性に優れ、また電波波長に応じた機器小型化が図れ、高速・大容量の情報伝送が期待できるので、衛星通信回線の降雨減衰影響を必要最小限にする、Q/Ka帯等の多周波数帯衛星通信開拓の必要性を提案いただきました(出典Q1-3)。

世界における降雨強度分布例を教えてください。

(出典Q1-1) http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku/info/20140215eisei_syogai.html

(出典Q1-2) [http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%81%B2%E3%81%BE%E3%82%8F%E3%82%8A_\(%E6%B0%97%E8%B1%A1%E8%A1%9B%E6%98%9F\)](http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%81%B2%E3%81%BE%E3%82%8F%E3%82%8A_(%E6%B0%97%E8%B1%A1%E8%A1%9B%E6%98%9F))

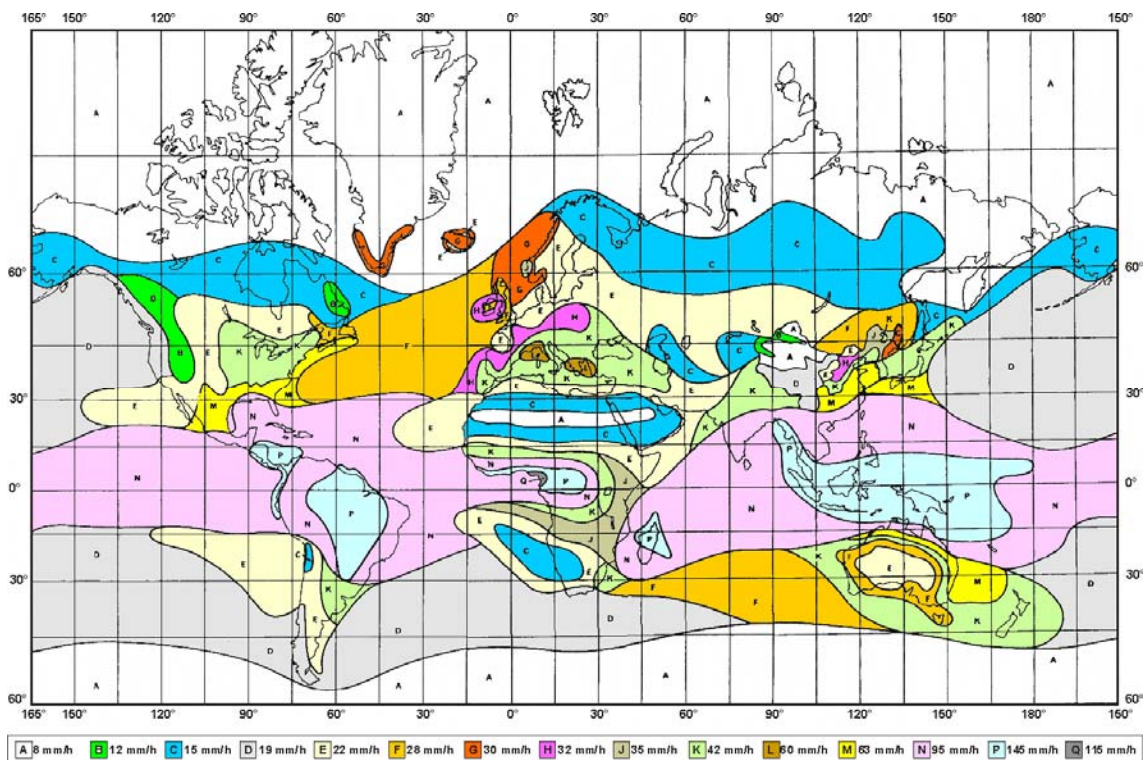
(出典Q1-3) <http://satcom.jp/71/spacejapaninterviewj.pdf>。

磯氏:世界における降雨強度分布15ゾーンに分類表例を表A1-1に示します。また、世界における降雨強度分布地図例(1分間累積時間率0.01%の例)を図A1-1に示します(出典A1-1, A1-2)。

表A1-1世界における降雨強度15ゾーン分類表 R (mm/h) ITU-R P.837

Percentage of time (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1.0	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	15	2	4	5	12	14
0.3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	42	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

K 42 mm/h **L** 60 mm/h **M** 63 mm/h **N** 95 mm/h **P** 145 mm/h **Q** 115 mm/h



図A1-1世界における降雨強度15ゾーン分布地図例(1分間累積時間率0.01%)

降雨強度42mm/hのKゾーン(薄緑色)は、(1)東経127.5度～157.5度の西日本の東部、東日本、北海道及び北方諸島の陸域と周辺海域に加えて、(2)東経108度～127.5度の中国東部及び朝鮮半島の陸域、(3)東経97.5度～西経180度～西経170度の豪州沿岸及びニュージーランドの陸域と周辺海域、(4)東経60度～97.5度のインド北部や周辺海域、(5)西経12度～西経0度～東経52.5度の欧州南部及び中近東北部の陸域及び地中海等の海域、(6)西経15度～西経0度～東経36度のアフリカ中央部の陸域、(7)東経30度～東経40度のアフリカ南東部沿岸陸域、(8)西経67.5～99度の北米東海岸地域、(9)西経45度～66度の南米南東部に存在します。

降雨強度63mm/hのMゾーン(黄色)は、(1)東経120度～150度の西日本の西部及び伊豆諸島の陸域と周辺海域、(2)東経105度～127.5度の中国東部沿岸の陸域及び黄海と東シナ海の世界、(3)東経120度～170度の豪州北部及び東部の陸域と周辺海域、(4)西経52.5度～西経110度の北米東海岸と南部の陸域と周辺海域に存在します。

降雨強度95mm/hのNゾーン(薄ピンク色)は、(1)東経123度～150度の奄美群島や沖縄等を含む南西諸島及び小笠原諸島と周辺海域、(2)東経35度～135度のインド南部、インドシナ半島、フィリピン及び台湾の陸域とインド洋の世界、(3)東経105度～180度の豪州北部沿岸陸域と周辺海域、(4)東経30度～東経0度～西経30度のアフリカ中央部およびアフリカ西岸部の陸域と周辺海域、(5)西経30度～西経180度の中央アメリカ、南米東海岸及び南米西海岸陸域と周辺海域に存在します。

降雨強度42mm/hのKゾーン(薄緑色)、降雨強度63mm/hのMゾーン(黄色)及び降雨強度95mm/hのNゾーン(薄ピンク色)を含む日本本土・離島や排他的経済水域サービスエリアにおける衛星通信回線品質の季節変化及び経年変化特性等の信頼性評価から得られる成果は、世界に広がる降雨強度42mm/hのKゾーン(薄緑色)、降雨強度降雨強度63mm/hのMゾーン(黄色)及び降雨強度95mm/hのNゾーン(薄ピンク色)における、衛星通信事業展開に寄与することが期待できます。

(出典A1-1) <http://www.racom.eu/eng/products/m/ray/calcul.html>

(出典A1-2) RECOMMENDATION ITU-R PN.837-1, CHARACTERISTICS OF PRECIPITATION FOR PROPAGATION MODELLING, (1992-1994)

降雨強度ゾーンと気象予報用語「雨の強さと降り方」との関係を教えてくださいませんか。

1分間累積時間率0.01%を超える降雨強度 $R_{0.01}$ (mm/h) (The rain rate $R_{0.01}$ exceeded for 0.01 per cent of the time with an integration time of 1 min)は、表A1-1の降雨強度15ゾーン分類表 R (mm/h) ITU-R P.837を参照しますと、Kゾーンにおいて、 $R_{0.01}$ (mm/h) = 42mm/h、Mゾーンにおいて、 $R_{0.01}$ (mm/h) = 63mm/h及びNゾーンにおいて、 $R_{0.01}$ (mm/h) = 95mm/hが得られます。

降雨強度ゾーンと気象予報用語「雨の強さと降り方」との関係例を表A2-1に示します(出典A2-1)(出典A2-2)。

表A2-1 降雨強度ゾーンと気象予報用語「雨の強さと降り方」との関係例

降雨強度ゾーン	1時間雨量 (mm)	予報用語	人への影響	災害発生状況
Bゾーン等:	3未満	弱い雨 「小雨」を含む	2mm は、ほぼ100%人が傘をさす雨です	記述なし
Dゾーン: $R_{0.01}$ (mm/h) = 19mm/h	10以上～20未満	やや強い雨	地面からの跳ね返りで足元がぬれる	この程度の雨でも長く続く時は注意が必要
Fゾーン: $R_{0.01}$ (mm/h) = 28mm/h	20以上～30未満	強い雨	傘をさしていてもぬれる	側溝や下水、小さな川があふれ、小規模の崖崩れが始まる
Kゾーン: $R_{0.01}$ (mm/h) = 42mm/h	30以上～50未満	激しい雨	傘をさしていてもぬれる	山崩れ・崖崩れが起きやすくなり危険地帯では避難の準備が必要。都市では下水管から雨水があふれる
Mゾーン $R_{0.01}$ (mm/h) = 63mm/h	50以上～80未満	非常に激しい雨	傘は全く役に立たなくなる	都市部では地下室や地下街に雨水が流れ込む場合がある。マンホールから水が噴出する。土石流が起こりやすい。多くの災害が発生する
Nゾーン: $R_{0.01}$ (mm/h) = 95mm/h	80以上～	猛烈な雨	傘は全く役に立たなくなる	雨による大規模な災害の発生するおそれが高く、厳重な警戒が必要

(注1) 「強い雨」や「激しい雨」以上の雨が降ると予想される時は、大雨注意報や大雨警報を発表して注意や警戒を呼びかけます。

(注2) 猛烈な雨を観測した場合、「記録的短時間大雨情報」が発表されることがあります。

A2の出典:

(出典A2-1) http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/amehyo.html

(出典A2-2) http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kousui.html

1分間累積時間率0.01%を超える降雨強度 $R_{0.01}$ (mm/h) ≤ 63 mm/hの衛星回線の場合は、以前、(出典Q3-1)において、紹介していただいた「降雨強度47.1 mm/hの場合、4GHz降雨減衰量は0.2dB、6GHz降雨減衰量は1.3dB、12GHz(Ku帯)降雨減衰量は10.5dB、14GHz(Ku帯)降雨減衰量は13.7dB、20GHz降雨減衰量は26.4dB、30GHz降雨減衰量は48.8dB、40GHz降雨減衰量は68.8dB」報告より、大きな降雨減衰量が予想されます。Ku帯降雨減衰量の累積時間率分布の測定例を教えてください。(出典Q3-1) <http://satcom.jp/71/spacejapaninterviewj.pdf>

静止通信衛星スーパーバードC(東経144度)のKu帯降雨減衰量の累積時間率分布の測定例(2002年9月～2006年9月)を図A3-1に示します(出典A3-1)。

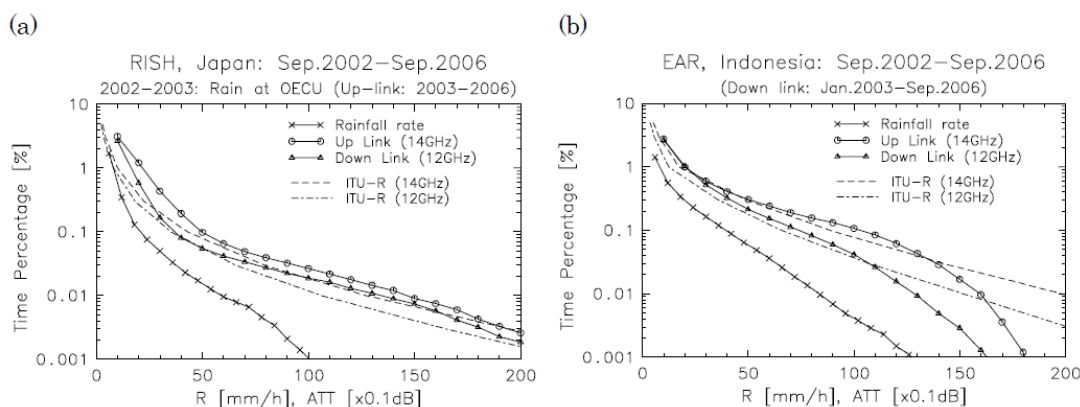


図1. (a)RISH(京都府宇治市)と(b)EAR(インドネシア西スマトラ州)で4年間測定されたスーパーバードCのKu帯上下回線の減衰量の累積時間率分布とITU-R勧告との比較。

図A3-2 静止通信衛星スーパーバードCのKu帯の降雨減衰量の累積時間率分布の測定例(2002年9月～2006年9月)

Mゾーンに属する京都宇治市(衛星仰角48度、衛星方位角165度)のTime Percentage0.01%におけるRainfall rateは60mm/h、下り回線12GHzにおける降雨減衰量は13dBで、ITU-R勧告値11dBより大きな値を示します。Pゾーンに属するインドネシア西スマトラ州(衛星仰角39度、衛星方位角89度)のTime Percentage0.01%におけるRainfall rateは85mm/h、下り回線12GHzにおける降雨減衰量は13dBで、ITU-R勧告値16dBより小さな値を示しています。

(出典A3-1) http://www.isas.jaxa.jp/j/researchers/symp/2009/image/0226_proc/1-3.pdf

報道例『2014年8月19日夜から20日未明にかけて広島市内で局地的な豪雨が降り、土石流などの土砂災害が複数箇所発生した。広島県警や消防などによると、2歳の男児を含む18人が死亡、13人が生き埋めになるなどして行方不明になっている。このうち1人は救助活動中だった消防隊員で、土砂崩れに巻き込まれて死亡した。広島県は午前6時半、自衛隊に災害派遣を要請した。消防が救出活動を続けている。8月20日午前3時半ごろ、広島市安佐南区山本の住民から「裏山が崩れ、自宅に土砂が流れ込んだ」と119番があった。この住宅に住む子供2人が生き埋めになり、救出されたが、2歳の男児は搬送先の病院で死亡が確認された。もう1人の11歳の男児も心肺停止状態という。また午前3時半ごろ、安佐南区緑井で、77歳の女性が土石流に流され、その後発見されたが死亡が確認された。午前5時10分ごろには、安佐南区八木でも住宅が土砂に埋まり、生き埋めになった男性2人の死亡が確認された。安佐南区の山本、緑井、八木の3地区、安佐北区などで広範囲にわたり土砂災害が発生し、複数の住民と連絡が取れなくなっている。安佐南区緑井では土石流で複数の住宅が押し流されたとの情報があり、警察や消防が確認を急いでいる。市消防局によると、死亡した消防隊員は消防司令補の男性(53)。安佐北区可部東の土砂崩れ現場で救助活動に当たっていて生き埋めになり、救出されたがその後、死亡が確認された。広島地方気象台によると、8月20日午前3時50分ごろ、安佐北区で1時間に120ミリを超える雨量を観測したため、「記録的短時間大雨情報」を出した。

午前4時半までの3時間の降雨量は204ミリに達し、平年の8月1カ月分の雨量を上回った。広島県と広島市はそれぞれ災害対策本部と災害警戒本部を設置。同市は午前4時15分と4時半に安佐北区と安佐南区の一部地域に避難勧告を出した』(出典Q4-1)や『中国電力によると、安佐南区で約1万600戸、安佐北区で約3万400戸、佐伯区で約5200戸、中区で約3100戸など延べ約5万9100戸が、8月19日深夜から20日未明にかけて停電。原因は落雷などとみられ、高压配電線が1カ所断線、変圧器などが6台破損、電柱が20本ほど倒壊したとしている。安佐南区八木の太田川発電所も、浸水により故障した。』(出典Q4-2)。等があります。

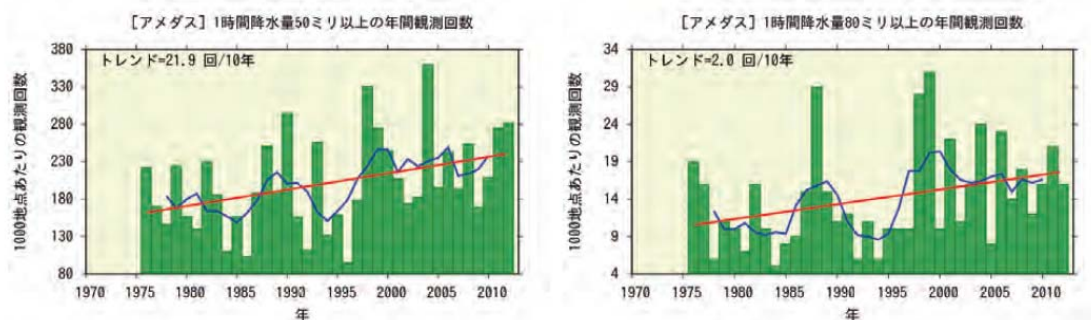
日本の近年の気候は、CSさくら打上げ時(1977年)の37年前の気候に比べて大きく変化しているように思います。気候変動や「亜熱帯化」傾向についてどのようなことが指摘されていますか。

(出典Q4-1) <http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20140820-00000020-mai-soci>

(出典Q4-2) <http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20140821-00000060-san-134>

日本の最近の気候は、CSさくら打上げ時(1977年)の37年前の気候に比べて大きく変化し、気候の「亜熱帯化」が1. 水資源・水災害分野における(1)渇水リスクが増加、(2)水質変化の可能性、(3)大雨災害の深刻化、(4)高波・高潮リスクの増加、2. 自然生態系分野では、動植物の生息域が北上、3. 農業分野では、水稲収量が増加する一方で品質低下の影響が大きい、4. 水産業分野では、サワラが増え、スルメイカが減少、5. 保健医療分野では、(1)感染症媒介蚊の生息域が拡大、(2)熱中症の増加等の影響を与えていることが指摘されています(出典A4-1)

アメダスで観測された1時間降水量50mm及び80mm以上の短時間強雨の発生回数の推移例を図A4-1に示します(出典A4-2)。



図A4-1 アメダスで観測された1時間降水量50mm及び80mm以上の短時間強雨の発生回数の推移例 (青色の折れ線は5年移動平均、赤色の直線は期間にわたる変化傾向を示す)

1時間降水量50mm以上の赤色の変化傾向直線によれば、1976年(昭和51)160回/年が2012年(平成24)240回/年と1.5倍に増加しています。1時間降水量80mm以上の赤色の変化傾向直線によれば、1976年10回/年が2012年17回/年と1.7倍に増加しています。

Ka-C帯通信衛星CSさくらが1977年(昭和52)年に、日本標準時経度と同じ、静止衛星直下経度東経135度に打上げられて以来、37年が経過しています。

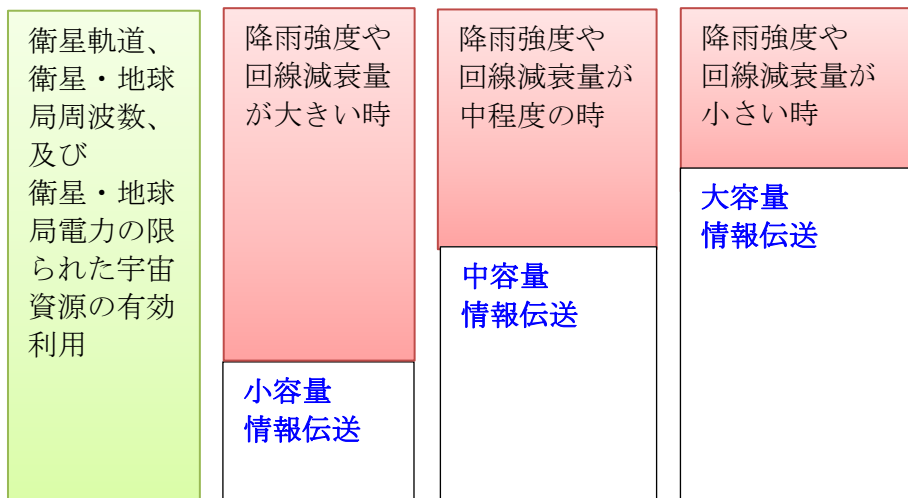
豪雨(豪雪)災害発生予想情報や災害時の危険地帯における避難準備情報等の伝達に必要なKa帯及びC帯衛星通信回線設計法の高精度化、さらに、新周波数Q帯衛星通信の開発をするために、多周波数帯Q帯、Ka帯及びC帯共用の降雨強度適応機能を有する通信衛星の早期開発と衛星打上げが望まれます。そして、日本本土・離島や排他的経済水域サービスエリアにおけるQ帯、Ka帯及びC帯電波伝搬における降雨減衰特性と降雨強度に対する上り回線及び下り回線不稼働率や周波数ダイバシティ効果等の衛星回線品質の季節変化及び経年変化特性等の信頼性評価及び回線品質対価格比評価が必須です。

(出典A4-1) http://www.env.go.jp/earth/ondanka/rep130412/pamph_full.pdf

(出典A4-2) http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2012/pdf/ccmr2012_chap2.pdf

降雨強度適応型衛星通信の概念例についてお話しいただけますか。

降雨強度適応型衛星通信の概念例を図A5-1にします。



図A5-1 降雨強度適応型衛星通信の概念例

降雨強度適応型衛星通信は、降雨強度が大きくなるに従い、Q帯、Ka帯及びC帯回線減衰量は増加しますので、必要最小情報量、中容量及び大容量伝送に必要な所要回線品質を自動的に保持しながら伝送する仕組みです。C帯回線減衰量はQ帯やKa帯に比べて、降雨強度の影響を受けないので周波数ダイバシティ効果が得られ、Q帯単独通信衛星より、Q/Ka/C帯多周波数通信衛星は降雨時における大容量伝送が期待できます。

例えば、小容量情報伝送は、降雨強度や衛星回線減衰量に対する衛星通信回線設計余裕が大きくなるので、「激しい雨」(1時間降雨が30(mm)以上～50mm未満)(表A1-1 降雨強度ゾーンと気象予報用語「雨の強さと降り方」との関係例参照)により、山崩れ・崖崩れが起きやすくなっている危険陸域や海域の住民や自治体からの救助・救急車の要請電話119番、事件・事故・捜索の急報電話110番、海上事件・事故・捜索の緊急通報電話118番及び自衛隊等への救難・救助・救命・捜索要請連絡のための情報配信ニーズを満たすことが必須となります。

衛星通信小容量情報伝送の例として、非常災害時や地上移動通信不感地域に設置の衛星携帯電話から衛星通信回線経由消防機関への119番救急通報伝達例(出典Q6-1)の情報量試算例についてお話しいただけますか。(出典Q6-1)<http://www.mfi.or.jp/fg-kanrika/menu/call119.html>

119番救急通報文例と(バイト換算情報量例)(出典A6-1)を示します。

119:「はい。119番消防です。火事ですか？救急ですか？」(48バイト)

通報者:「救急です。」(10バイト)

119:「場所はどちらになりますか？住所を教えてください。」(46バイト)

通報者:「大雪災害で孤立した山梨県富士河口湖町ホテル〇〇からです。」(76バイト)

(出典A6-2)<http://www.videomix.cz/video/YOyQOOKReZA/>

119:「どうしましたか？」(16バイト)

通報者:「お父さんが突然倒れました。」(26バイト)

(←この時点で救急隊が出動を開始しています)

119:「お父さんの年齢をお願いします。」(30バイト)

通報者:「69歳です。」(12バイト)
 119:「お父さんは今話しかけて応答ありますか？」(38バイト)
 通報者:「はい。話をする事は出来ます。」(28バイト)
 119:「どこが具合悪いと書いていますか？」(30バイト)
 通報者:「胸が苦しいと書いています。」(24バイト)
 119:「今までこの様な症状になった事がありますか？」(42バイト)
 通報者:「初めてです。」(12バイト)
 119:「今までに大きな病気をした事がありますか？」(40バイト)
 通報者:「特に無いです。」(14バイト)
 119:「かかり付けの病院はありますか？」(30バイト)
 通報者:「大森赤十字病院の内科です。」(26バイト)
 119:「内科には何でかかっていますか？」(30バイト)
 通報者:「高血圧です。」(12バイト)
 119:「わかりました。通報者のお名前をフルネームでお願いします。」(56バイト)
 通報者:「●●●●と書いています。」(20バイト)
 119:「今かけている衛星携帯電話番号をお願いします。」(44バイト)
 通報者:「090-3212-0000です。」(33バイト)
 119:「わかりました。直ちにドクター救急ヘリを向かわせます。」(44バイト)
 通報者:「はい。」(6バイト)
 119:「どなたか1名、白い雪に対して目立つ洋服を着て、〇〇ホテルから屋外に出てドクター救急ヘリに手を振り、救急隊に合図をお願いします。」(118バイト)
 通報者「はい。わかりました。」(20バイト)

全体の文字数520字のバイト換算情報量は837バイト、ビット換算情報量は837バイト×8ビット/バイト＝6,696ビットです。話すスピードを6字/秒(出典A6-3)とすると520字の双方向伝送時間は87秒かかります。ビット換算実効的情報量6,696ビットを87秒、伝送効率80%で伝送するための、衛星通信双方向1回線換算の所要伝送速度は(6,696ビット/0.8)÷87秒＝96.2ビット/秒と試算されます。所要伝送速度96.2ビット/秒は、第3世代(3G)携帯電話の拡張版(3.9G)LTE送信速度86メガビット/秒(出典A6-4)の89万分の1の低速・小容量となります。

(出典A6-1) http://www.luft.co.jp/cgi/str_counter.php

(出典A6-2) <http://www.videomix.cz/video/YOyQOOKReZA/>

(出典A6-3) <http://u-note.me/note/47489352>

(出典A6-4) <http://www.infraexpert.com/study/wireless46.html>

ありがとうございました。 ■

磯 彰夫

昭42東北大学大学院理学研究科修士課程了。同年電電公社電気通信研究所入社。昭48電電公社横須賀電気通信研究所。昭49宇宙開発事業団(NASDA) 実用衛星設計グループ(出向)。昭53電電公社横須賀電気通信研究所。昭和62宇宙通信基礎技術研究所(SCR)出向。平成3NTT無線システム研究所。平4三菱電機鎌倉製作所入社。平14エム・シー・シー入社。平成19独立行政法人情報通信研究機構新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマバイルグループ、現在株式会社アイソ・スペースネット・リサーチ代表取締役。工学博士。AIAA, IEEE, AFCEA, 電子情報通信学会, 各会員