

第24回 IEICE

ICT Pioneers Webinar

移動通信とともに歩んだ研究生生活を
振り返りつつICTのこれからを考える

令和4年4月22日

京都大学 名誉教授
(5GMF会長、B5Gコンソーシアム副会長)

吉田 進



お断り:

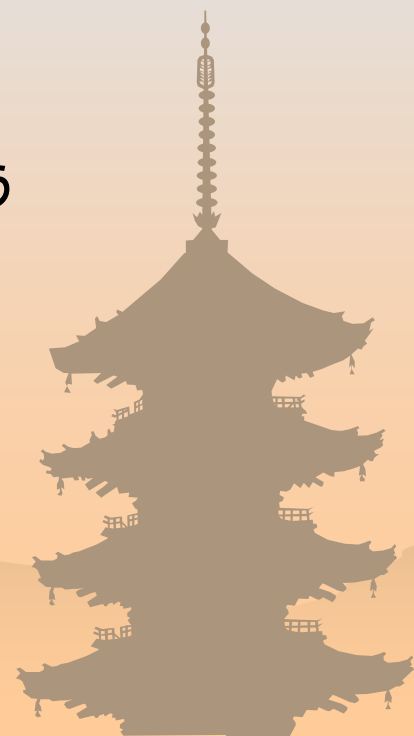
これまでに本会の下記の記事等で公表した内容と重複する部分が多いことを予めお断りしておきます。

- 会誌：会長就任にあたって （2012年7月号）
--電子情報通信分野の課題とその解決に向けて--
- 会誌 巻頭言：国際交流に思う （2009年7月号）
- 会誌 巻頭言：ICT技術者の存在感向上を目指して
（2013年1月号）
- 通ソマガジン B-plus 私の研究者歴（2019年春号）
情報通信技術に魅せられて
- 会誌：若き技術者への期待 （2007年1月号）
--深みのある研究者になろう！--



本日の講演内容

- 情報通信技術に魅せられて
 - その魅力に引かれ通信の世界へ！
 - 光ファイバそしてセルラー無線の進展とともに、、、
 - 世界を変えた情報通信技術(ICT)
 - 5GそしてBeyond 5G：不可欠な社会インフラに！
- 国際交流に思う ---人のつながりの大切さ---
 - 国際会議と、あこがれだったベル研究所訪問
 - シンガポールとの交流と、その急激な発展に思う
 - 中国との交流
- さらにICTの発展を願って
 - ICT分野の更なる発展・活性化に向けて
 - ダイバーシティの重要性(女性の活躍を!)
 - 若い人たちへの期待



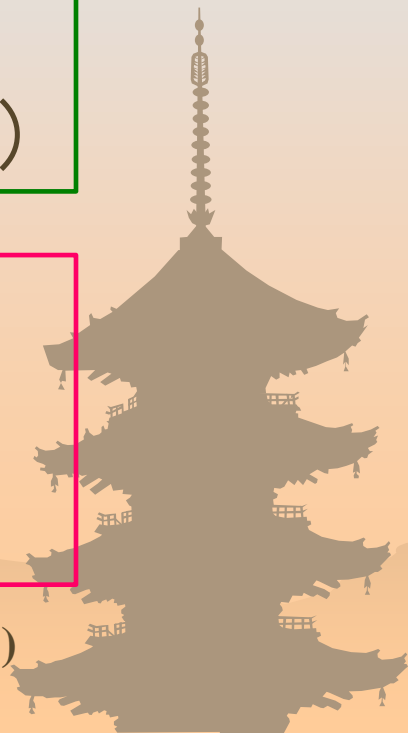
学生時代、多重伝送技術に魅せられる、、、

周波数分割および時分割
多重伝送技術にびっくり！

一例 C-60M (1972年):
1本の標準同軸ケーブルで
10,800ch アナログ多重伝送(FDM)

一例 FTM-10G (1996年):
1本の光ファイバケーブルで
129,024ch 多重伝送(TDM)

(チャンネル数は音声回線換算)



1883年に予測された未来社会

(電話線の多重化技術が見逃されている！)

SIGNALS

The Science of
Telecommunications,

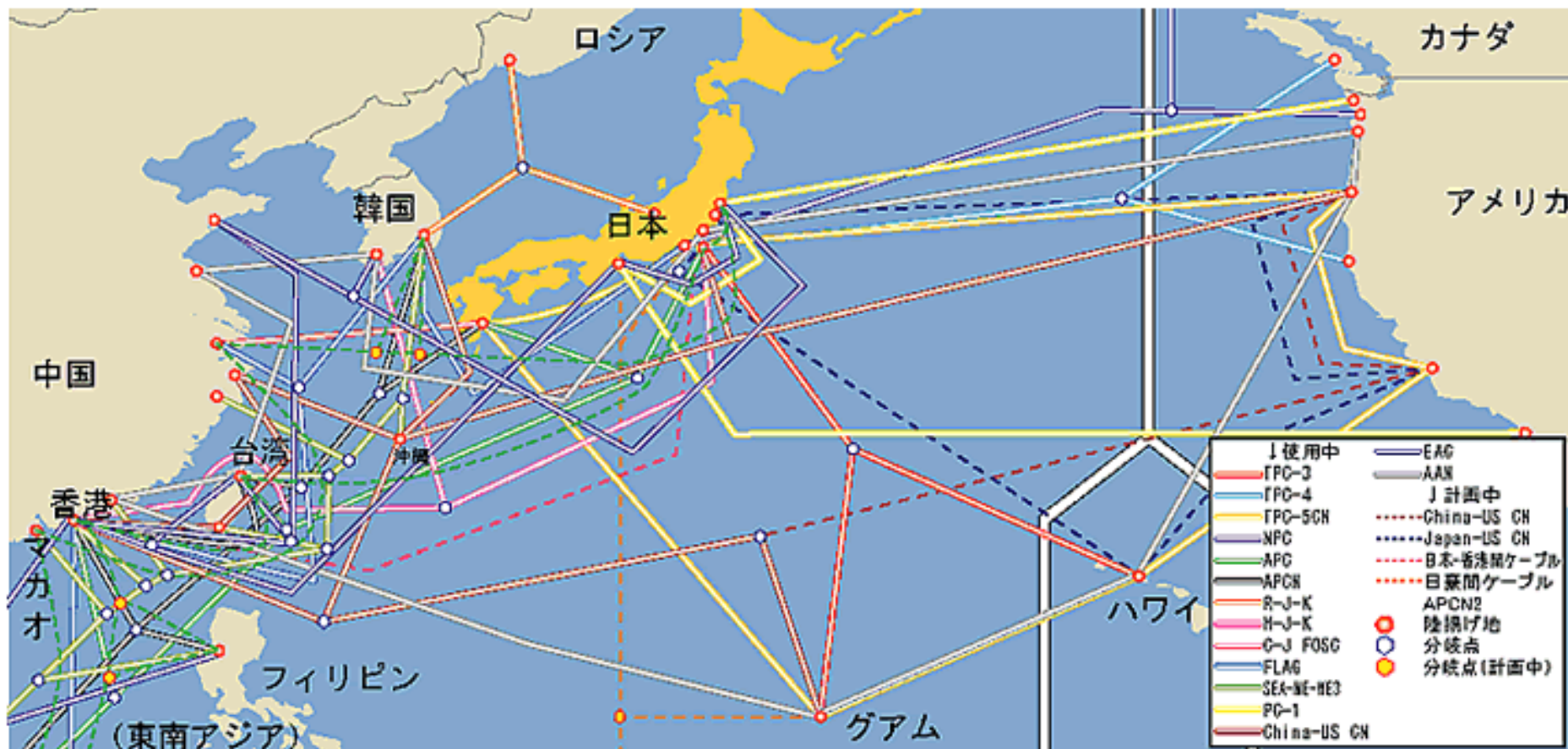
John R. Pierce & A. Michael
Noll, Scientific American
Library (1990)より



大学の先輩太田忠一さん(当時KDD)より海底ケーブルの話の伺い、ロマンを感じるとともに大いに興味を持つ！

総務省の情報通信
白書より(平成13
年2月現在)

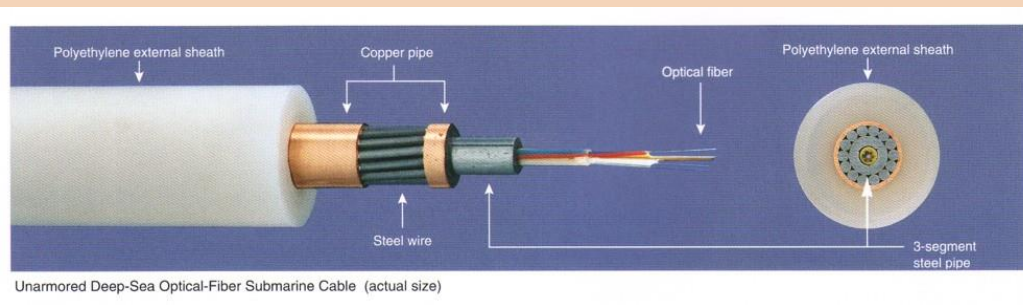
日本周辺の国際海底ケーブル



各社資料より作成

海底光ファイバケーブル

(左: 敷設深度により被覆厚が変わる!)
(KDDI千倉海底線中継所にて写す)



'90年代 光ファイバ敷設ブーム
→ '00年代初頭一転不況に(需
要を上回る容量)
→ YouTubeなど動画配信サービ
スの誕生の契機に!

KCS (Kokusai Cable Ship Co. Ltd.)のパンフレットより)

4.8Tbps 太平洋横断光海底ケーブル “Unity”

(東日本大震災にも耐える!)

KDDI千倉海底線中継所
(2010年春より運用)

10Gビット/秒 × 96チャネル
DWDM光ファイバを5対



Source: <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20091101/339898/>

FASTER : 最大容量 **60Tbps** 2016年運用開始

100Gbps × 100チャネル × 光ファイバ6対

南志摩海底線中継所 (三重県志摩市) と千倉第二海底線中継所 (千葉県南房総市) の2ヶ所に陸揚げ

KDDI (日本), China Mobile International (中国), China Telecom Global (中国), Global Transit (マレーシア), Google (米国), Singtel (シンガポール)。

Source: <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2016/06/29/1887.html>

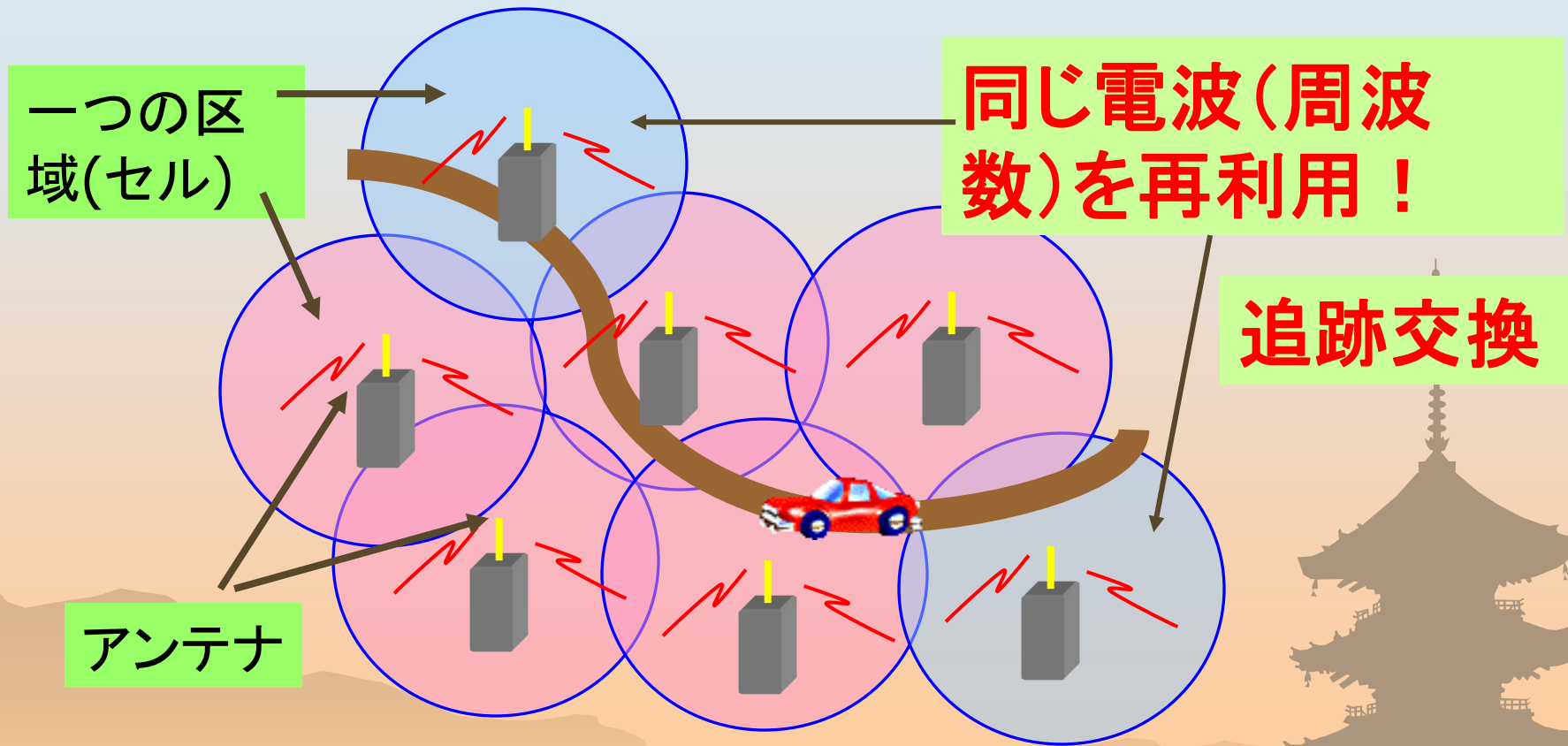
1976年秋より移動通信の研究を始める、、、 電波測定車とともに （1979年頃） 京大 池上研にて



光ファイバが中枢神経とすれば、セルラー無線は末梢神経に相当

携帯電話の原理

セルラー(cellular)方式



セル半径～5km マクロセル、1km以下 マイクロセル、100m以下 ピコセル

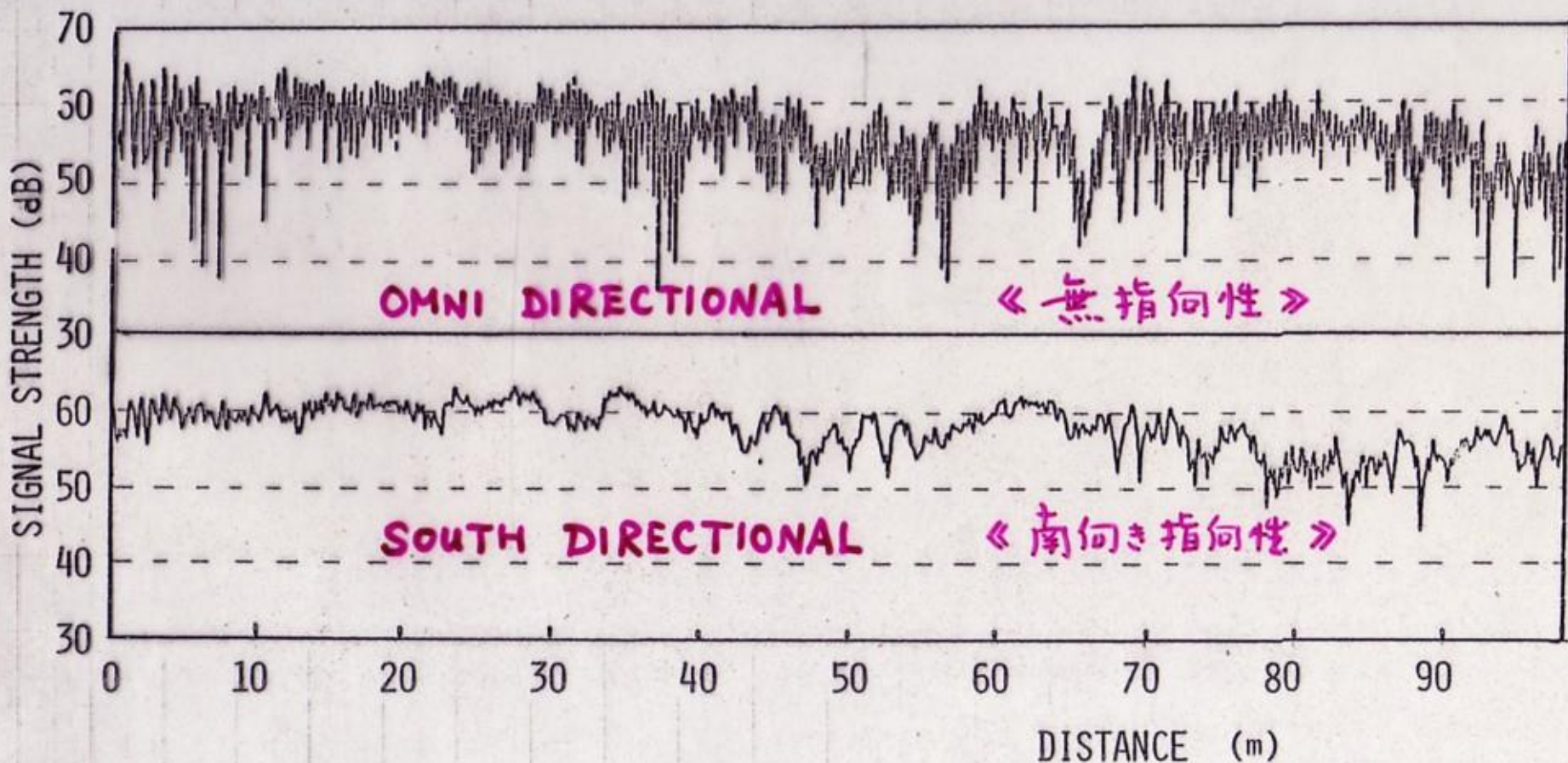
第1世代(1979年12月～)

- セルラー方式移動通信の始まり！
- 自動車電話（アナログ方式）としてスタート
送受信機は車のトランク、ハンドセットは車の
ダッシュボードに。企業のVIP用。大変高価。
- FDMA (SCPC 25kHz間隔からスタート)
- 当初は秘話機能なし。
- 秘話機能導入後も人気なし

通話内容が筒抜け、、、大変おおらかな時代！



VHF TV信号移動受診結果の一例



指向性アンテナによるフェージング消滅効果 (堀川通り)
Fading elimination effect by directional antenna
(KYOTO)

デジタル方式に向けた研究が盛んに！

耐多重波変復調方式

遅延波 邪魔ものから味方へ

遅延検波するだけでパスダイバーシチ効果が得られる！

ただし、遅延時間は半シンボル以下

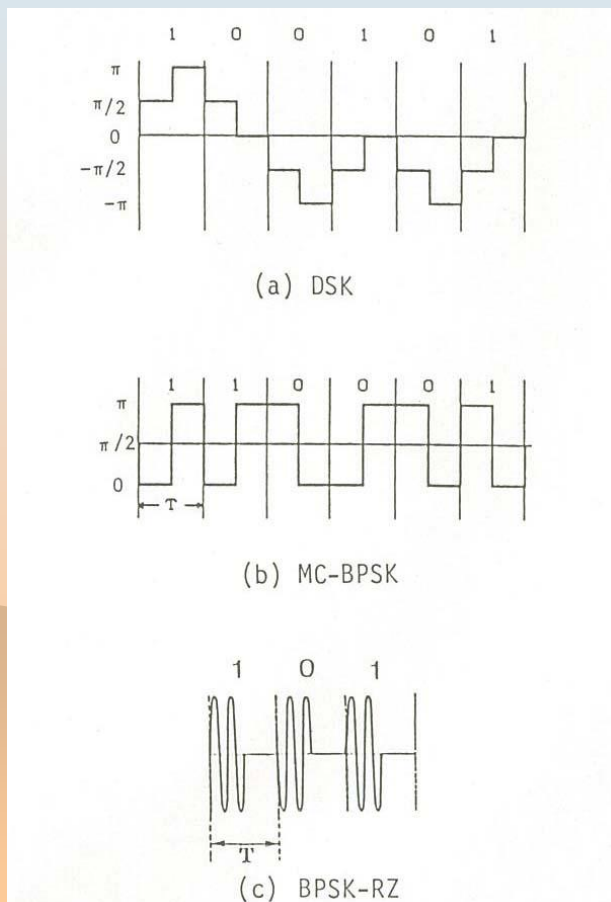
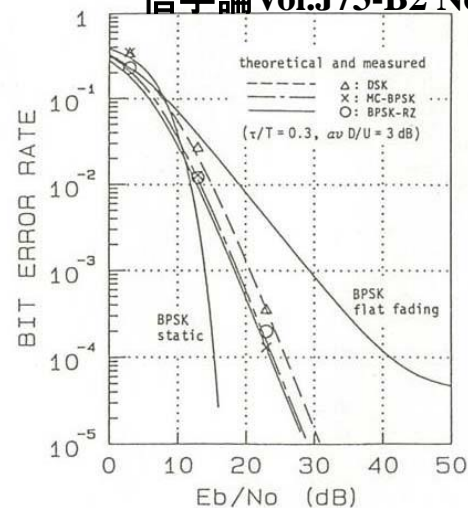


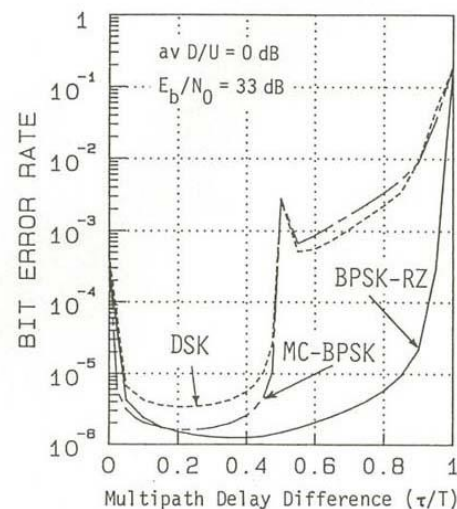
図 1 耐多重波変調方式の原理

Fig. 1. Principles of anti-multipath modulation techniques

吉田 進, 池上 文夫, 竹内 勉,
耐多重波変復調方式について
信学論Vol.J73-B2 No.11 pp.668-674



(a)



(b)

移動通信の研究：80年代はマイナーな研究分野！ 多重波(経路)(マルチパス)伝搬との闘いの歴史

IEEE GLOBECOM 1987 東京(新宿)

翌年 RCS研究会発足！

数少ない移動通信のセッション



記念切手も発行
される



Speaker's Breakfastで座長のDon Cox (Bellcore)を囲んで

第2世代(1990年代) デジタル通信

- 携帯電話の時代に！（日米貿易摩擦の影響も）

JDC (Japanese Digital Cellular)

→ PDC (Personal Digital Cellular)

- 欧州発の**GSM**で**活気**！

多くの会議・数多くの論文

- TDMA vs. CDMA (Qualcomm)

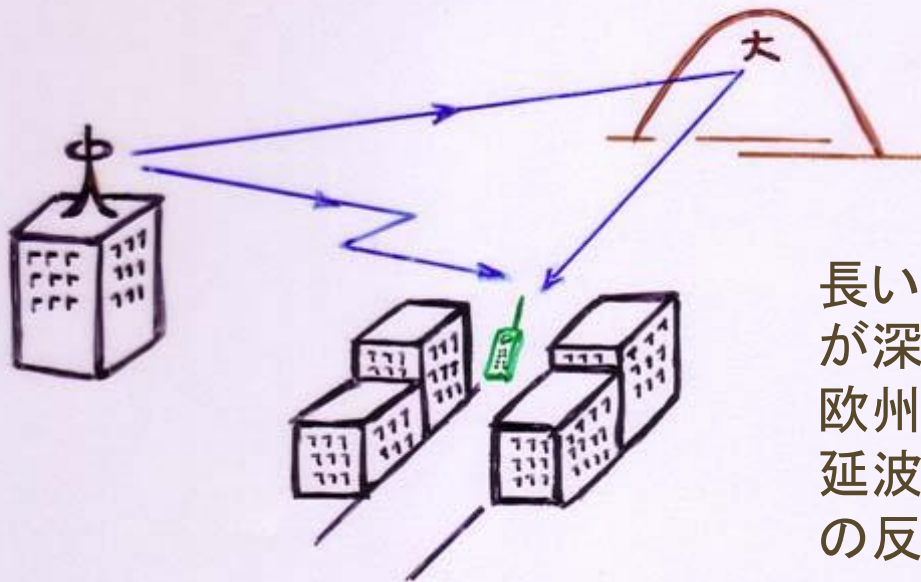
- 複数事業者による競争・・端末買取制

- i-mode (1999～)

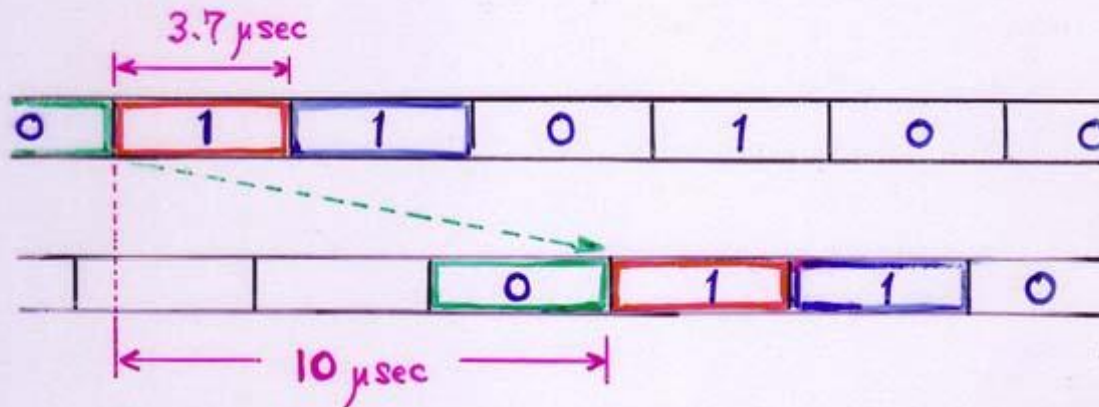


GSM携帯電話

- ❁ 1982年のEC統合に際して欧州全体で使える**ディジタル**携帯電話の規格を目指す
 - CEPT内のGSM (Group Special Mobile)分科会で検討開始
 - 現在ではGlobal System for Mobile communications
- ❁ 公募し、1986年パリでコンテストを実施。きわめて先進的かつ挑戦的な8つの方式が集まる
- ❁ 結果的に、**長い遅延波(16 μ sec)**にも対応可能なナローバンドTDMAに基づく現行のGSM規格を採用。変調方式は日本生まれの**GMSK**!
- ❁ **SIM**カードの採用、詳細なドキュメンテーション、メーカーの積極的な海外売り込み等々で、全世界に拡散(日本と韓国以外、ほぼ全世界で使える)



長い多重波伝搬遅延時間差
が深刻な問題に！
欧州で $10\mu\text{sec}$ を超える長い遅
延波が観測(山岳や丘陵から
の反射波など)



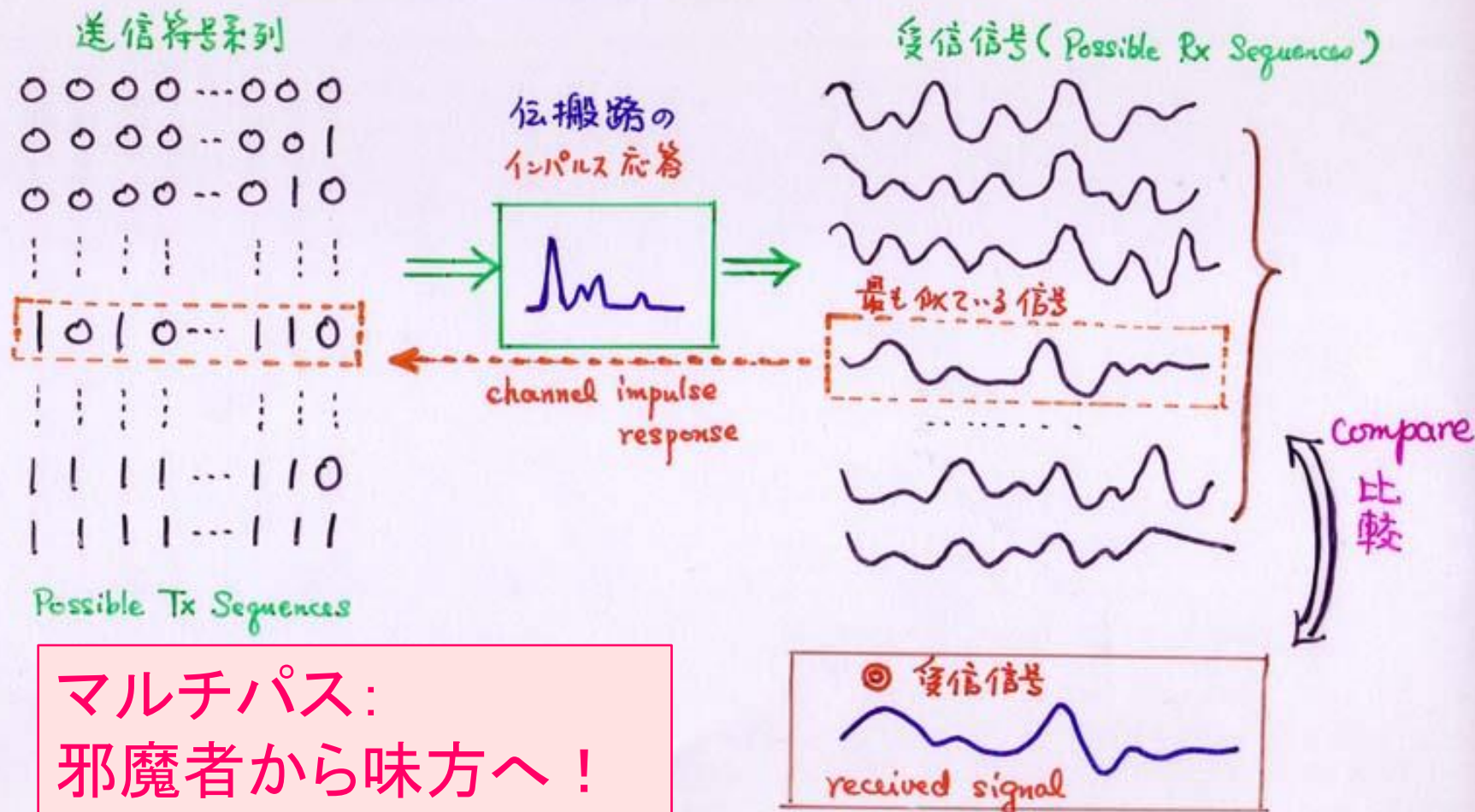
ヨーロッパの GSM システムでは $16\mu\text{sec}$ 以上の遅延波に
対処する必要がある。

($1\mu\text{sec}$ 300 m の通路差)

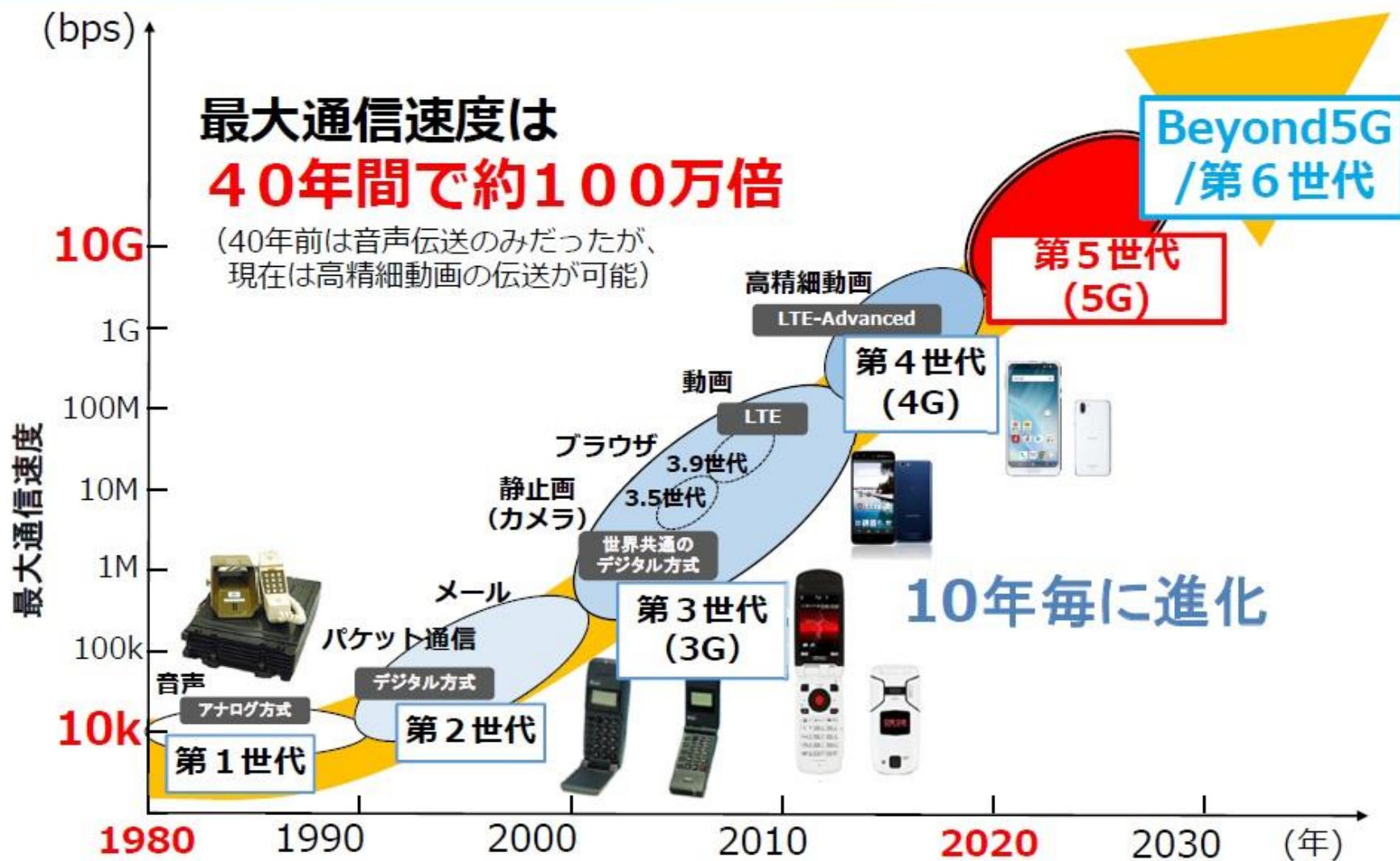


Principle of Viterbi Equalizer

Viterbi 等化器の原理 (Maximum Likelihood Sequence Estimation) (最尤系列推定)



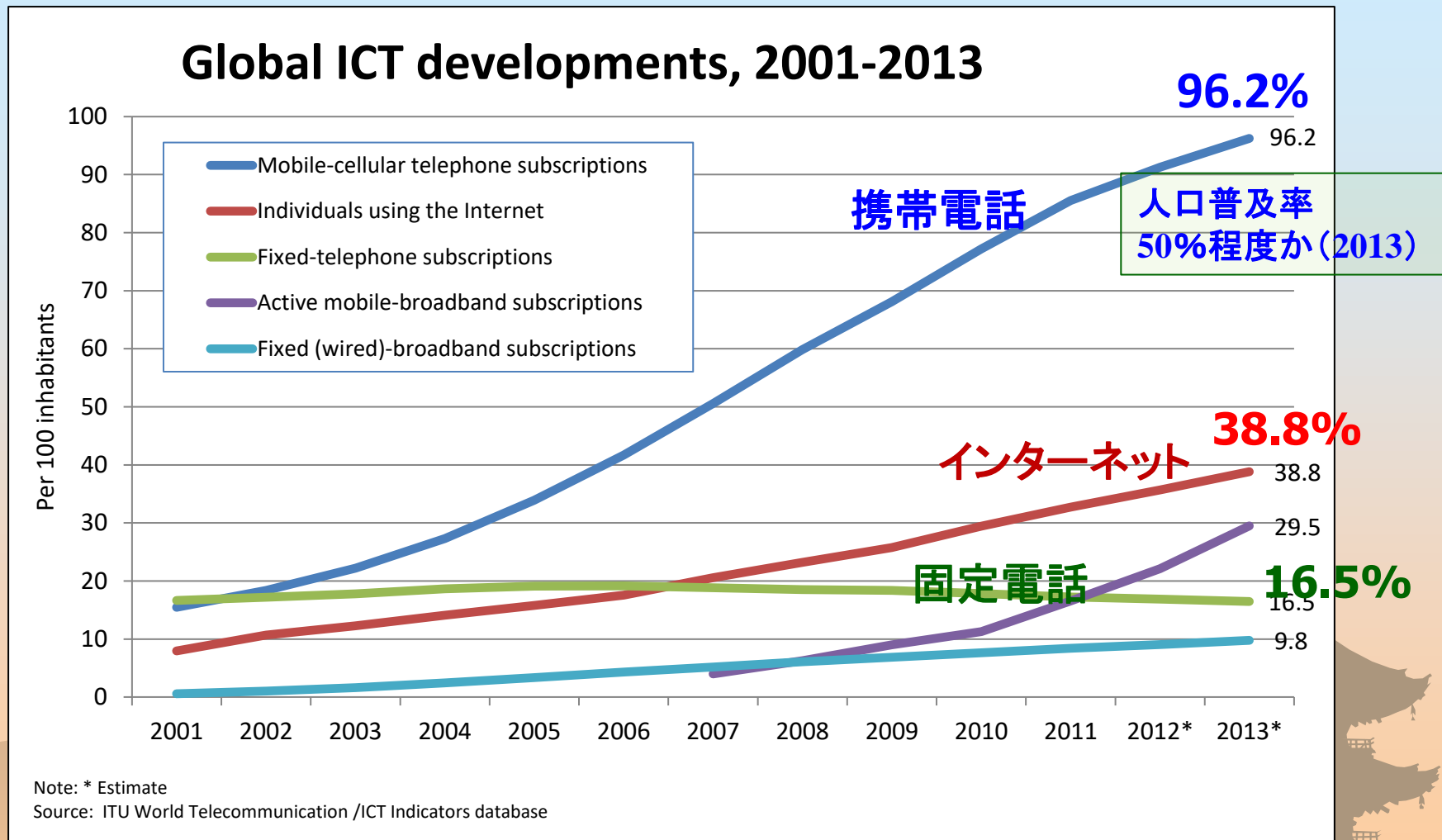
マルチパス:
邪魔者から味方へ!



携帯電話方式の変遷

第1世代(1G) '80年代	アナログ	FDMA (周波数分割)	自動車電話、やがて肩掛け電話へ(VIP専用)
第2世代(2G) '90年代	ディジタル	TDMA (時分割)	携帯電話、GSM(欧州発)の成功、庶民も
第3世代(3G) '00年代	高速ディジタル(2Mb/s)	CDMA (符号分割)	高速化、インターネット、世界に爆発的に広がる
第4世代(4G) '10年代	超高速ディジタル(~数100Mb/s)	OFDMA (直交周波数分割) MIMO	スマートフォン LTEそしてLTE-Aへ IoT
第5世代(5G) '20年代	超高速大容量 超低遅延高信頼 多数同時接続	Evolved 4G+NR Massive MIMO ミリ波(28GHz)	Verticalsとの連携・融合 社会インフラネットワーク
Beyond 5G '30年代		Evolved 5G +3 次元空間、テラヘルツ波、、、	持続可能な社会の構築に向けて不可欠な存在に！

発展途上国を含め全世界に急速に広がった携帯電話！



<http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>

フラット化する世界

- ❁ ハマドゥーン・トゥーレITU事務総局長(2010年代初め)
国連は2020年までに世界のネット普及率100%に！
(実際は2021年現在世界人口の63%がインターネットを利用！)
- ❁ 潘基文国連事務総長： 30億人以上が、薪や石炭、動物の糞を燃やして料理を作ったり、暖を取ったりしているほか、5人に1人が近代的な電力供給を受けられない
- ❁ 国連は2012年：「すべての人のための持続可能エネルギーの国際年」と宣言
- ❁ 2030年までに省エネ効率と再生可能エネルギーの割合をそれぞれ2倍にする目標に加えて、**Sustainable Energy for All** イニシアティブを発表
- ❁ **SDGs** (Sustainable Development Goals)の伏線になったのでは？



第5世代 (2020年代)

第5世代移動通信システム (5G) の概要

10

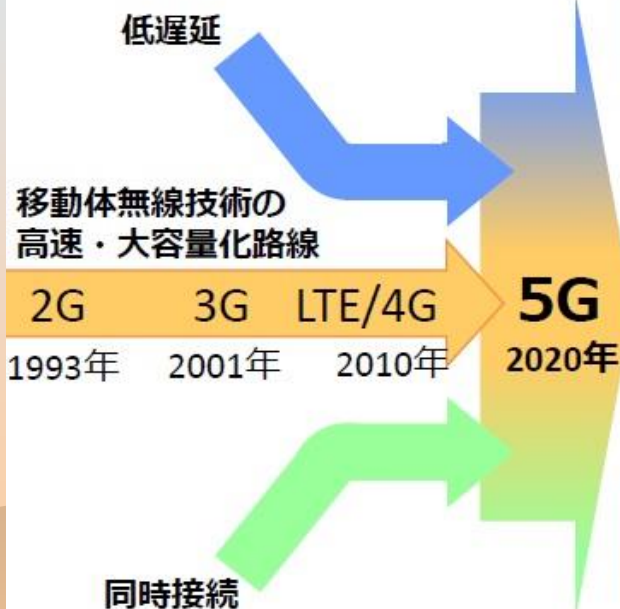
<5Gの主要性能>

超高速
超低遅延
多数同時接続



最高伝送速度 10Gbps
1ミリ秒程度の遅延
100万台/km²の接続機器数

5Gは、AI/IoT時代のICT基盤



超高速

現在の移動通信システムより
100倍速いブロードバンドサー
ビスを提供



⇒ 2時間の映画を3秒でダウンロード (LTEは5分)

超低遅延

利用者が遅延(タイムラグ)を
意識することなく、リアルタイム
に遠隔地のロボット等を操作・
制御



ロボットを遠隔制御

⇒ ロボット等の精緻な操作 (LTEの10倍の精度) をリアルタイム通信
で実現

多数同時接続

スマホ、PCをはじめ、身の回り
のあらゆる機器がネットに接続



⇒ 自宅屋内の約100個の端末・センサーがネットに接続
(LTEではスマホ、PCなど数個)

社会的なインパクト大

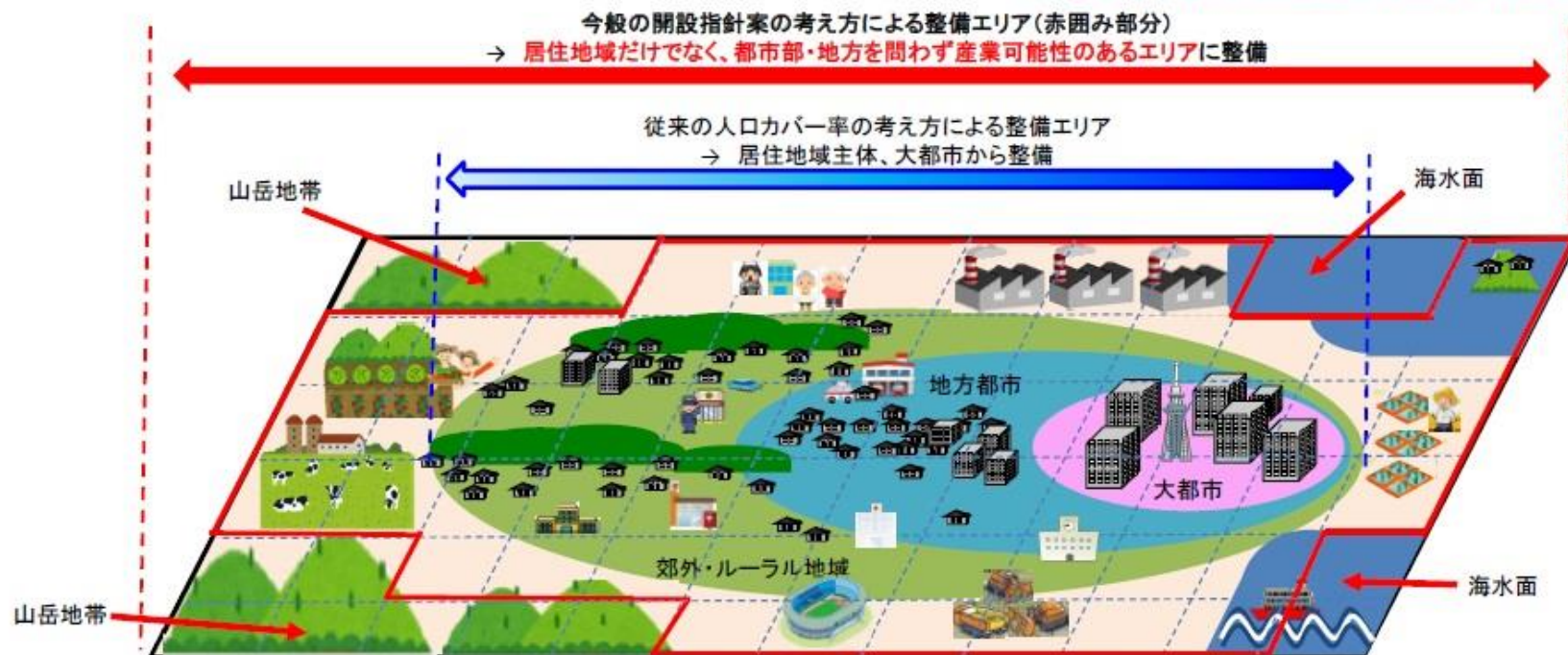
5Gのエリアカバーのイメージ

- 全国を10km四方のメッシュに区切り、都市部・地方を問わず事業可能性のあるエリア※を広範にカバーする。

※対象メッシュ数：約4,500

- ① 全国及び各地域ブロック別に、**5年以内に50%以上のメッシュで5G高度特定基地局を整備**する。
(全国への展開可能制の確保)
- ② 周波数の割当て後、**2年以内に全都道府県でサービスを開始**する。 (地方での早期サービス開始)
- ③ 全国で**できるだけ多くの基地局を開設**する。 (サービスの多様性の確保)

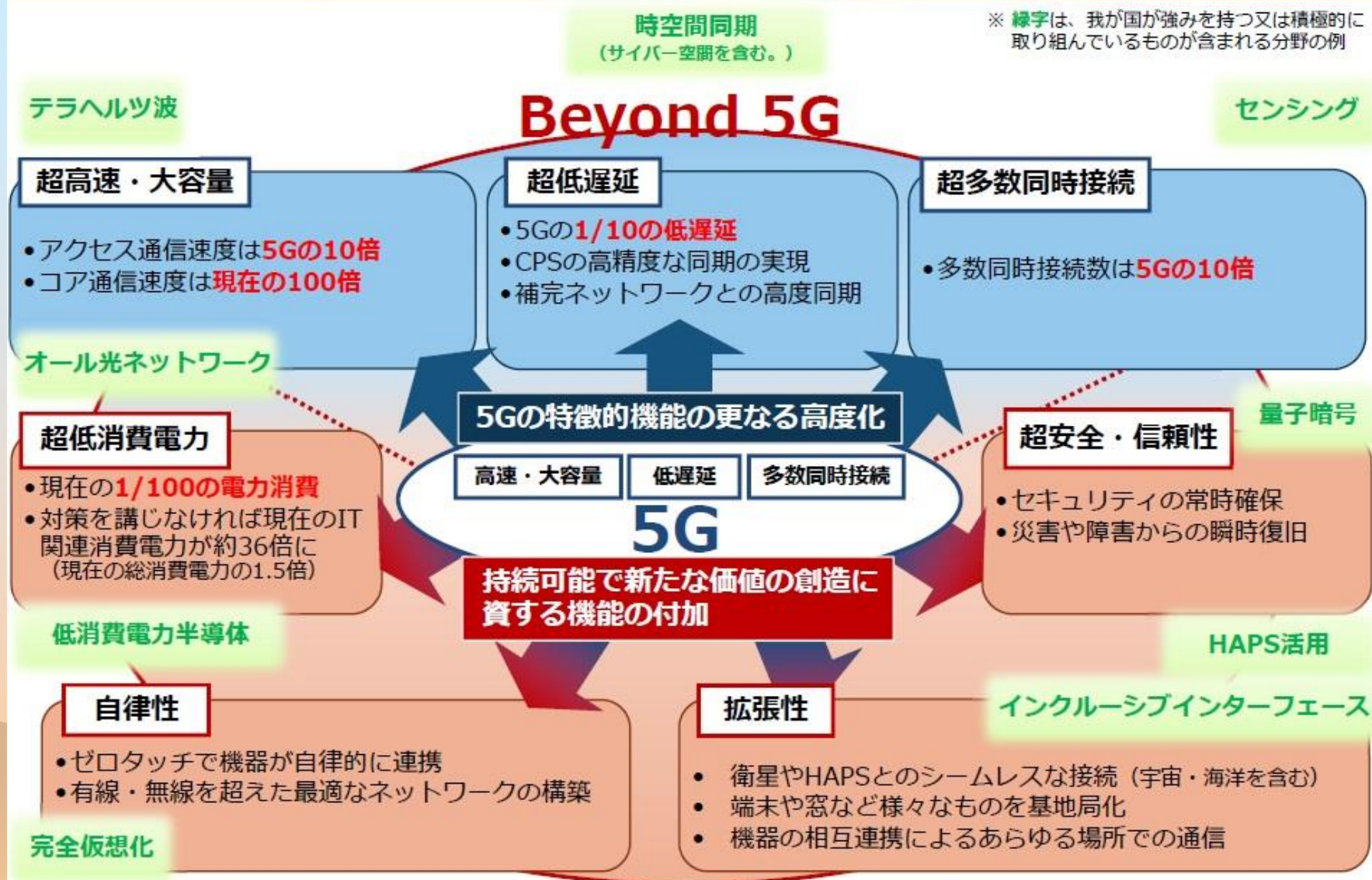
※第5世代移动通信システムの導入のための特定基地局の開設に関する指針(3.7/4.5, 28GHz帯、2019年4月10日認定)



※ 5G用周波数の特性上、1局でカバーできるエリアが小さく、従前の「人口カバー率」を指標とした場合、従来の数十倍程度の基地局投資が必要となるため、人口の少ない地域への5G導入が後回しとなるおそれ。

- 携帯電話及び全国BWA事業者に割り当てられた周波数は、下表のとおり（令和3年6月時点）。
- 平成31年4月、5G用周波数として3.7GHz帯、4.5GHz帯及び28GHz帯の割当てを実施。
- 令和3年4月、5G用周波数として1.7GHz帯（東名阪以外）の追加割当てを実施。

	700MHz帯	800MHz帯	900MHz帯	1.5GHz帯	1.7GHz帯	2GHz帯	2.5GHz帯	3.4GHz帯	3.5GHz帯	3.7GHz帯 4.5GHz帯	28GHz帯	合計
	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	
	20MHz	30MHz	—	30MHz	40MHz 東名阪のみ	40MHz	—	40MHz	40MHz	200MHz	400MHz	840MHz
	20MHz	30MHz	—	20MHz	40MHz	40MHz	—	—	40MHz	200MHz	400MHz	790MHz
	—	—	—	—	—	—	50MHz	—	—	—	—	50MHz
	20MHz	—	30MHz	20MHz	30MHz	40MHz	—	40MHz	40MHz	100MHz	400MHz	720MHz
	—	—	—	—	—	—	30MHz	—	—	—	—	30MHz
	—	—	—	—	80MHz (40MHzは東名阪以外)	—	—	—	—	100MHz	400MHz	580MHz
合計	60MHz	60MHz	30MHz	70MHz	190MHz	120MHz	80MHz	80MHz	120MHz	600MHz	1,600MHz	3,010MHz



いくつかの課題

- 全世界をつなげたネットのインパクトは絶大！

(一例)「戦争の形を変えたSNS」(2022.04.07毎日新聞社説)

- 異分野(verticals)との連携・融合、トータルなデザイン力、
広範な周知啓発

- 知的財産、国際標準化人材育成

- 長期的かつグローバルな視点(戦略)の重要性

- 10年ごとの世代交代の長所と短所：

課題の一例： 長期間の使用を前提としたIoT (多彩なセンサー類) にとっては、10年で使えなくなるのは困る！
(現に3Gのサービスは間もなく停止)



国際交流に思う ---人のつながりの大切さ---

海外出張の思い出

- 1977年1月 ハワイ出張(初めての海外)
 - 1983年9月 国立シンガポール大学1か月
 - 1984年7月 中国 2か月半(大連)
 - 1984年12月 初めて北米大陸へ(Globecom'84と
ベル研, Bellcore 訪問)
- その後、数年間しばしばBell Labs, Bellcoreを訪問

- 1990年12月 Rutgers州立大WINLABと
Carleton大(Ottawa) 客員研究員(10ヶ月)



初めての海外出張(ハワイへ)

- 1977年1月、第10回HICSS国際会議でハワイへ出張(パッケージを利用) 1ドル300円位の時代
- 多くの人に出会う 座長のUdo W. Pooch教授, UNIXの **Dr. Dennis Ritchie**, 符号理論の **Shu Lin** 教授, インテルからはマイクロプロセッサの発表
- 小野里先生(当時東北大修士)にアロハ・ネットワークのメネフネを見せて頂く。
- 帰国後、Udo Pooch教授が**IEEE Computer**のGuest Editorで特集号を企画(1977年11月号)
- 岩間先生が代表執筆、投稿→**採択**！

S. Yajima, Y. Kambayashi, S. Yoshida and K. Iwama,
"Optically Linked Laboratory Computer Network
LABOLINK", IEEE Computer, vol.10, no.11, Nov. 1977



初めての米国本土訪問 (Globecom'84)

AT&T Bell Labs 訪問 (1984年12月)

Murray Hill Bell Labs



Holmdel Bell Labs

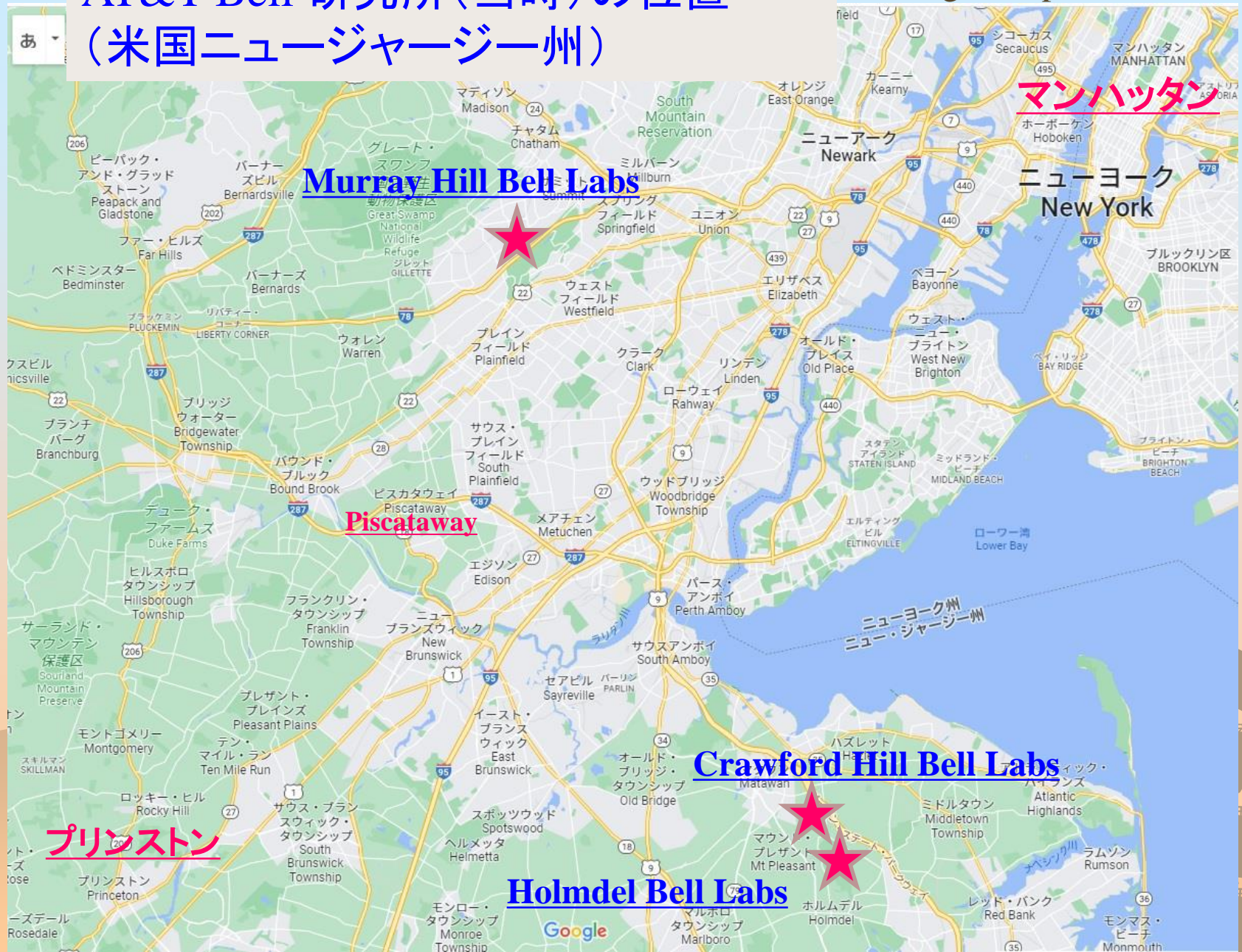


い。醍醐味は何と云ってもカルチャーの違いの発見である。「ユダヤ人と日本人」「国家の品格」等々、日本と外国との比較についての種は尽きない。自身で経験した話題では、「日本人はなぜ車をぴかぴかに磨くのか?」「日本ではなぜ電信柱やテレビのアンテナを無造作に林立させるのか?」「なぜ米国のベル研で働く日本人研究者は少ないか?」等々がある。1980年代に米国訪問時に、故小川謹一郎博士から米国のベル研で働く韓国や中国からの研究者の数は3けた、一方日本出身の研究者は1けたしかいないと聞き驚いた記憶がある。

会誌巻頭言より抜粋

AT&T Bell 研究所(当時)の位置 (米国ニュージャージー州)

Google Mapより



Crawford Hill Bell Labs訪問

電波測定車の前で



AT&Tが分割された直後：
Bell Labs と Bellcore の研究
者が同居中

Bellcore Don Cox (後に、
Stanford大学教授)らと



隣の丘の上にあ
るホーンアンテナ
見学(Big Bangの
発見、風船衛星との
交信等に利用)



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bell_Labs_Horn_Antenna_Crawford_Hill_NJ.jpg

WINLAB (wireless information laboratory)の仲間たちと

(1991年5月)



1990.12-1991.9 北米への留学

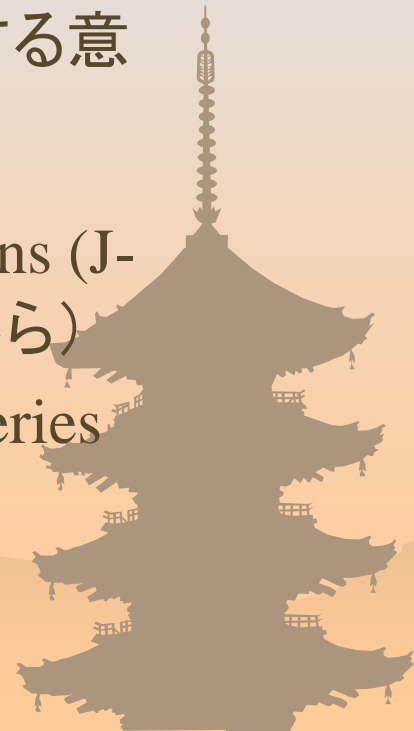
特に1990.12-1991.5 は米国NJ州
立Rutgers大学のWinlabへ
(AT&T Bell Labsから多数の研究
者がRutgersへ)

帰国してまもなくいろいろな依頼が！ 面倒がらずに引き受けよう！

- ✿ 突然IEEE Pressから出版予定の本の校正刷りの査読依頼が飛び込んできた
- ✿ 続いてAssociate Editor, Communications Society Book Liaison to IEEE Press をやって欲しいとの依頼が来た
- ✿ カナダからは大学研究費(NSERC)の配分に関する意見を求める手紙が届く

その後、しばらくしてから

- ✿ IEEE Journal on Selected Areas in Communications (J-SAC) → Guest Editorの依頼(Ted Rappaportから)
- ✿ 続いて IEEE J-SAC Wireless Communications Series → 編集委員を頼まれる(しんどい経験)



39 years ago ...

1983年に約1か月国立シンガポール大学(NUS)を訪問

Prof. Tjhung visited Kyoto Univ, then Yoshida visited NUS

(NUS : National University of Singapore)

Yoshida (left) & Prof.Tjhung (right) at NUS (1983)

若い時に会った友人は貴重な財産！
その後の研究生活の様々な局面で必ずや役に立つ存在に、、、



at NUS Campus



(at Singapore-Japan WS, 2003年12月)

シンガポールの事例

多民族国家(中華系7割以上)、土地は大半国有地

'80年代はJICA(発展途上国扱い)、'90年代はJSPS(共同研究)が支援(京大が拠点校)

教員:欧米で学位を取得(英国の影響大)

早くから大学の英語化に! →海外との密な交流

女子学生(EEE)2~3割、早くから中国への博士学生リクルート活動

学長らトップを欧米から招へい(欧米流)→トップダウン人事
厳しい教員人事→大学ランキング:アジアの上位校に!

National University of Singapore (NUS)

Nanyang Technological University (NTU)

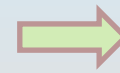


中国との交流

1984.7-8 赴日留学生の予備教育に(大連外国語学院にて)

当時、自動車は極めて少なく(貴重品)、自転車や馬車が多用
高層ビルもなし。女性の社会進出(市電やバスの運転手など)が印象的
電話も少なく(固定電話のみ)、公衆電話さえ極めて少なかった

→ 大連から北京への電話：つながるまでに40～50分待たされる
生野菜は、上海の高級ホテルで初めて遭遇



その後、急激
な発展！

大連外国語学院出国留学预备人员培训部第三期



当時、中国の大学は米国や日本等から
教えを乞う一方、アフリカの留学生を受け
入れていたのにびっくり！





日中学術交流(移動通信分野)

NTTドコモ北京研設立を機に
 日中移動通信分野の技術交流
 中国科技部・総務省MoU
 中国FuTure Forumと
 2006年～毎年WS開催(YRPとjointで)
 日中共同研究も

中日未来移动通信技术研讨会 SINO-JAPAN FUTURE MOBILE COMMUNICATION TECHNOLOGIES WORKSHOP



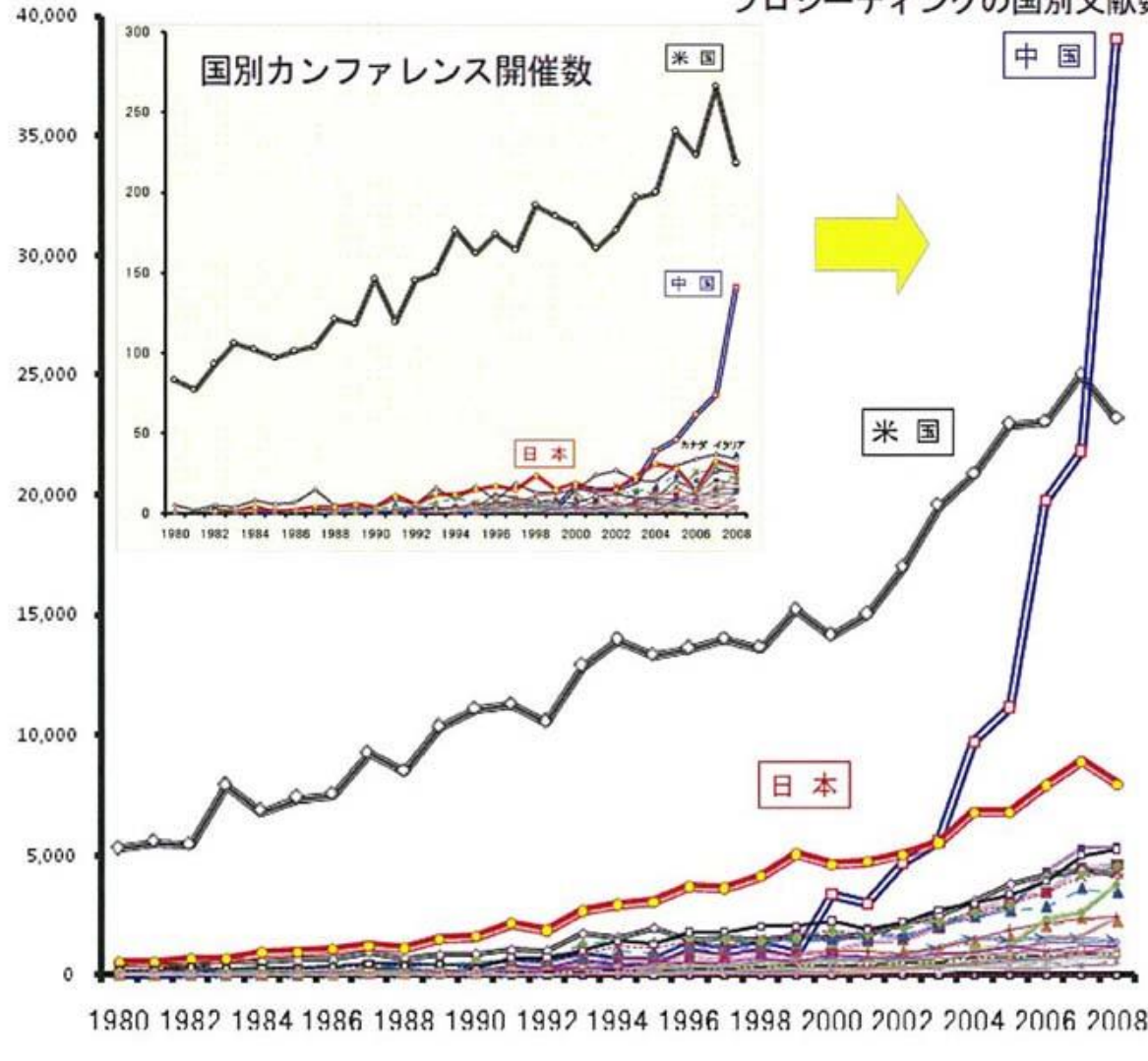
東南大学 尤教授と

2006年6月桂林で
 初回Workshop開催

- 2000 年代に入り、中国でのカンファレンス開催が急増し、2008 年には中国のプロシーディングの文献数が米国を抜いて世界一となった。

(文献数)

プロシーディングの国別文献数推移



文科省の科学技術政策研究所がIEEEの国際会議と論文誌における発表論文数の国別の分析を実施

<http://www.nistep.go.jp/achiev/abs/jpn/mat194j/pdf/mat194aj.pdf>

国際交流

- 若者をもっと海外へ！
- 若い時の海外の友人はとても大切！
- せっかくの国際会議：
「日本人同士が集まって日本語で」よりは
「海外に多くの友人を作り相互に訪問する契機に」
- 優れた留学生の積極的な受け入れ(環境整備)
- 母国に帰った留学生のアフターケアを
- 省庁縦割りの弊害をなくし日本としての財産に
- 日本の文化や武士道精神等々
- 日本の近代史の勉強も、、、



男女共同参画

より多くの女子学生が工学部の電気電子情報分野へ！

入試科目(理科)への生物の導入を

これからは工学も“生物”に学ぶ必要あり

ワークライフバランス (社会の理解を)

エンジニアのステータス向上に向けて

韓国(梨花女子大 1994電子工学科)のように女子大にも
電子情報系の学部・学科を！

最近になって日本でもようやく、、、

＊ 『高校の物理履修率は1982年を境にして減少し、現在は30%を切りそう、、、 一方、化学・生物の履修率は60%台であり、上昇傾向、、、 女子高校生の物理離れは非常に深刻である。』

牧野正三(東北大)“電気・情報離れ”(Dソサイエティ誌第12巻4号より)

大学そしてICT分野の活性化に向けて

- ◆ 大学の教員がもっと長期間海外へ出れるように！
サバティカル、標準化、共同研究など
- ◆ 研究センター大学院の英語公用語化を、、、
- ◆ (法人化前のように)長い目で若手研究者の育成を！
(たとえ失敗しても)そのプロセスを評価する社会へ！
減点主義から加点主義へ→敗者復活を認める社会へ
- ◆ 異分野融合領域の開拓
- ◆ 優れた留学生の確保：日本企業の人事評価にとまどい。
給与・待遇よりはキャリアアップの機会を重視！
- ◆ シニアの活用を！（江戸時代のご隠居さん）



さらなる発展を願って！

- ❁ いまや、地球上ほぼ全体がインターネット接続
- ❁ 5G (そしてBeyond 5G) は単なる“移動体通信システム”ではなく、社会を支える“情報通信基盤(インフラ)”そのもの
- ❁ グローバルかつ長い目で見た“戦略”が必要。その国の競争力や存在感にもつながる
- ❁ ICT技術者の地位や存在感の向上 →積極的な社会貢献(広報活動含む)と正当な評価を
- ❁ 5G (そしてBeyond 5G)では、地方を含む広範囲の多彩な業界を巻き込んだ普及・展開が不可欠
- ❁ 国民のネット・リテラシー、そしてセキュリティ対策 が不可欠



伝えたいこと！

- 若い時こそ海外に出て行って交流を！（一生の財産に）そして学会のボランティア活動等グローバルに頑張ろう！
- 恵まれた環境(本会など)も最大限活用して、、、
- 複数の職場や研究分野を経験すべき(視野が広がる)
- 重要と感じたことは、はっきりと主張する(言わないと後悔する) いくつかの会議で苦い思い出。
- でも時には柔軟に、とりわけ人のつながり(人間関係)は大切に、、、(世界共通！)
- やはり英語力も必要(国際的な場での議論など、、、)
- 良きライバルを持とう(意識しよう)！
- やはり本を読み、深みのある人間に、そして食育・養情も！

養情：心にも栄養やエネルギーとしての食べ物が必要である。、、子守歌とか、童謡、物語、、、 成長してからも読書や世の中とのかわりを通して精神面での成長“養情”が必要である(五木寛之)

おわりに

- ICTの可能性は無限！
- 5GそしてBeyond 5Gの潜在的な可能性を切り拓いていこう。
- 人材のダイバーシティ重視→多彩な視点
- あらゆる機会を通して視野を広げ、常に長期的かつグローバルに戦略的な視野を持つ
- 電子情報通信学会は専門を極めるのみならず、ICTの裾野を広げ、広く国民のICTリテラシー向上に貢献すべきでは、、、
→ ICT技術者の存在感向上



ご清聴ありがとうございました。

