

新世代ネットワークのコンセプト

宮原秀夫

(独) 情報通信研究機構
National Institute of Information and
Communication Technology
NICT

National Institute of Information and Communications Technology



これまでの50年と
新世代ネットワークについて



乗用車の変遷

キャデラック '59



シボレー '59



フォード・サンダーバード '59



マーキュリー



スバル 360 '59



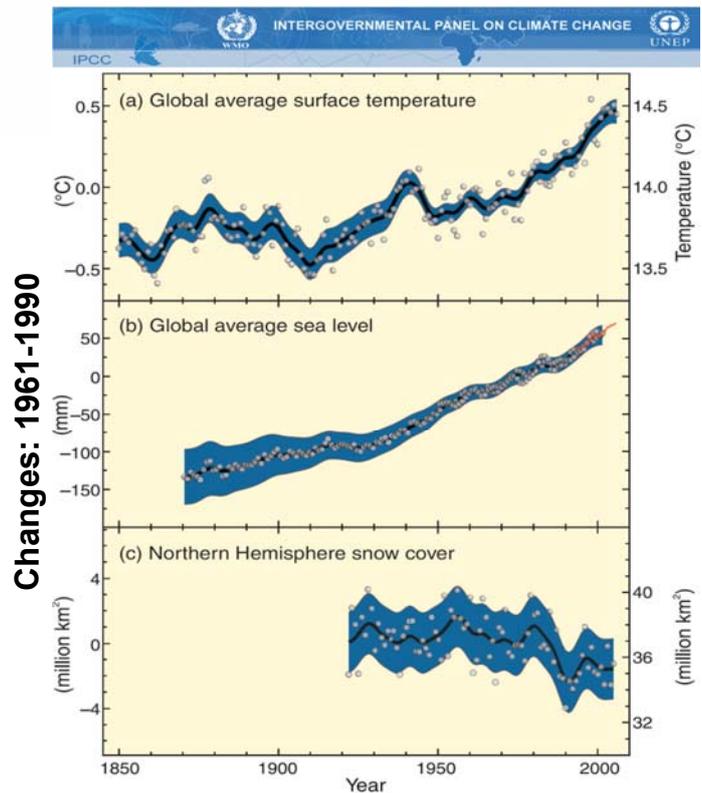
2

National Institute of Information and Communications Technology



気候変動

- 地球の気温と海水温の上昇
- 地球規模での平均海水面上昇
- 雪と氷の減少



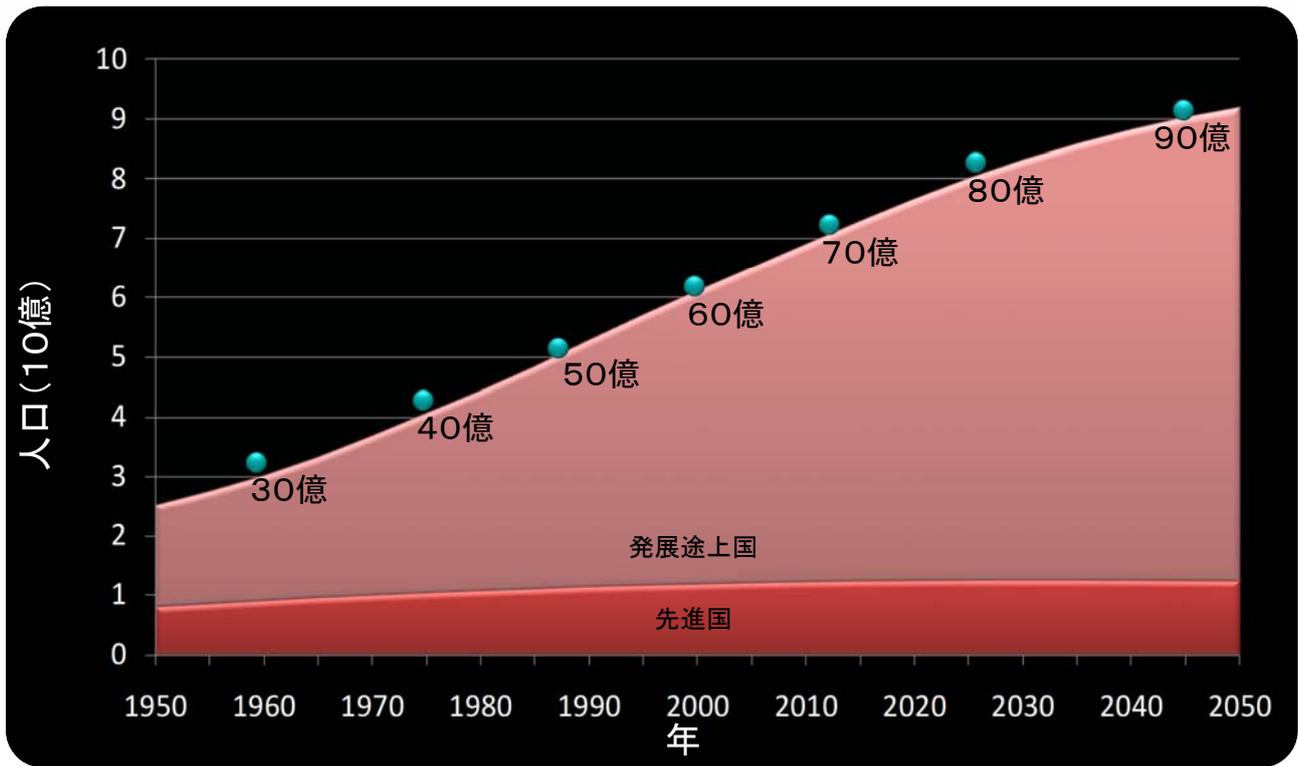
Source : IPCC Fourth Assessment Report (AR4) "Climate Changes 2007," <http://www.ipcc.ch/>

3

National Institute of Information and Communications Technology



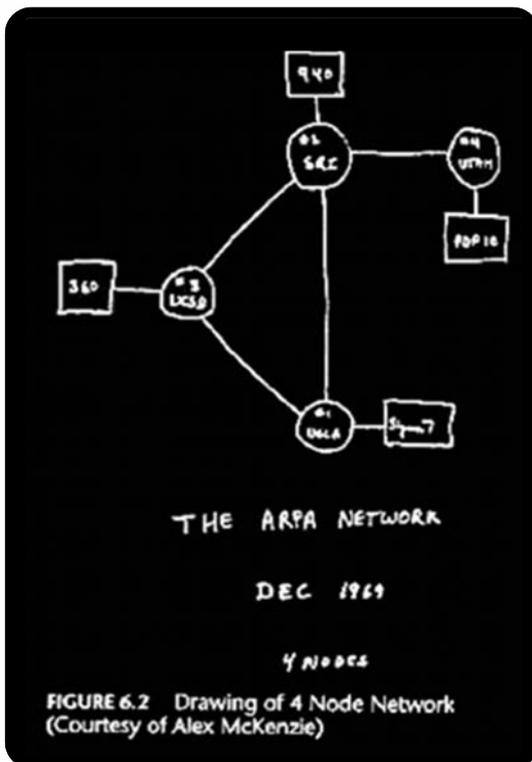
世界の人口：1950～2050



Source : Statistics Bureau , Ministry of Internal Affairs Communications , JAPAN



インターネットの誕生



adapted from "Casting the Net"

ARPA NETWORK ('69)

- UCLA
- UCサンタバーバラ校
- ユタ大学
- スタンフォード研究所 (SRI)



50年前...

インターネット社会を誰も想像しなかった

	年	1958	2008
国連加盟国		81	192
原油価格(バレル当たり)		2(USドル)	120(USドル)
電話加入者		1(億)	13(億)
携帯電話契約者		0	(1980s~) 25(億)
DNS登録のホスト数		0	(1969~) 5.42(億)

これからの50年、インターネットは私たちの要求に応えられるか？

6

National Institute of Information and Communications Technology



これからの50年:大きな課題

持続可能な発展を達成するために、地球規模の課題をどう克服するか？

- 環境変化
- 人口の爆発
- 将来直面するその他の課題と危機

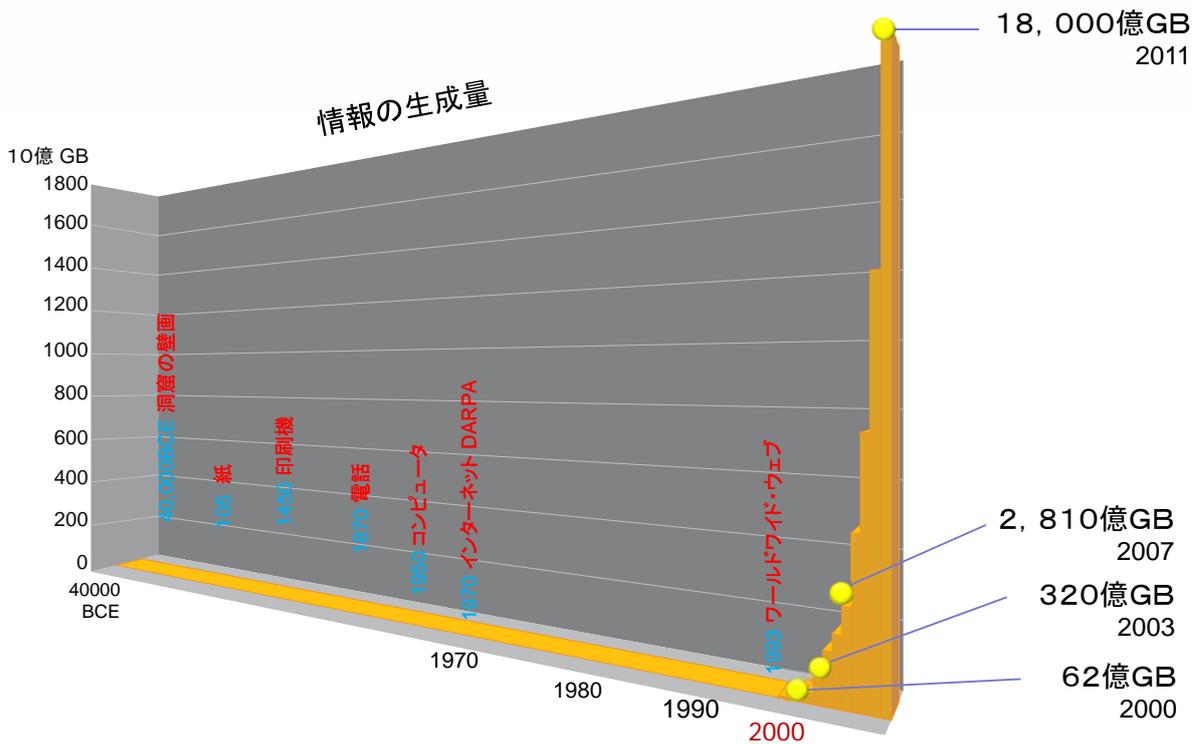
ICTは、持続可能な発展を支えるキー・テクノロジーとして、世界的課題の克服に貢献する

7

National Institute of Information and Communications Technology



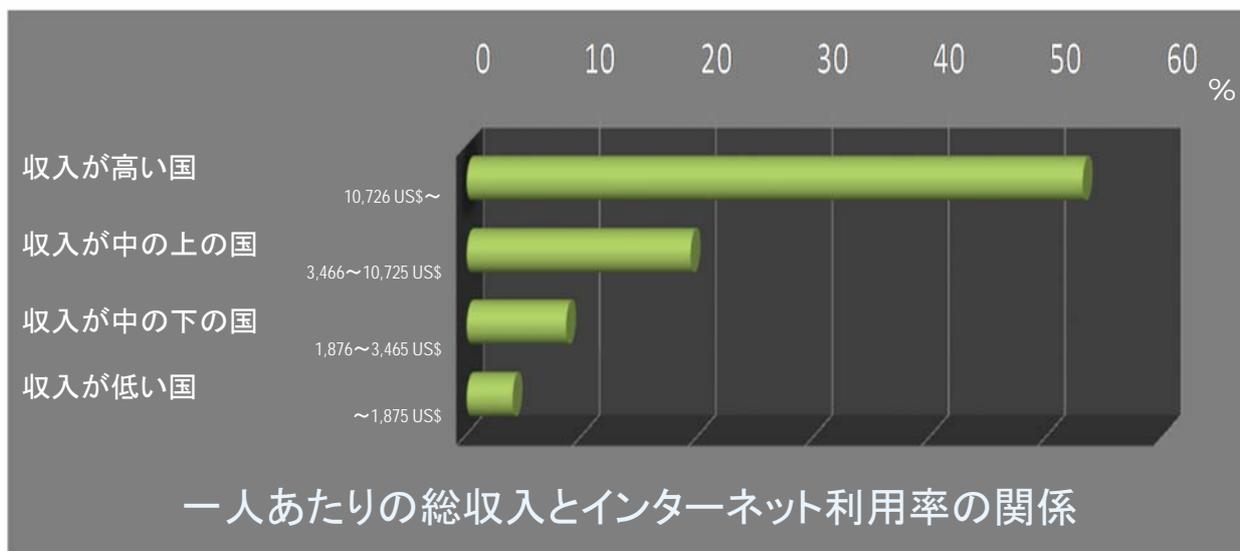
情報爆発



Source : Horison Information Strategies "cited from Storage New Game New Rules "
 Source : International Data Corporation , "The Diverse and Exploding Digital Universe " ,2008



インターネット利用率



Source : WHITE PAPER Information and Communications in Japan,2007



既存技術で
「ペタビット
クラスのルー
タ」を製造
すると

2020年、コアルータに求めら
れるスイッチング能力

ペタビットクラス

消費電力
10,000kW

x100

1,000,000kW



原子力発電所
= 1機の発電量

cisco data seat

理想的な新世代ネットワークのための要件

社会インフラのポイント

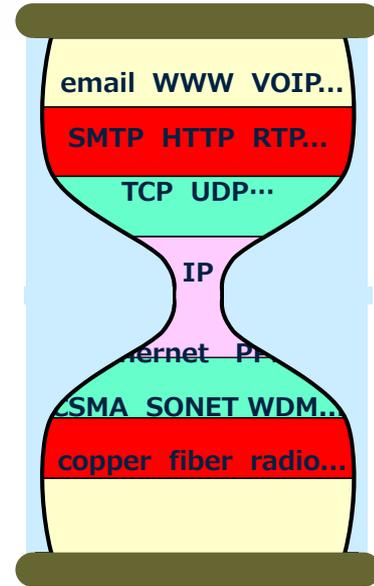
- 社会の持続可能な発展を支持
- 社会の安心と安全を実現
- 障がい者の生活を支援
- 将来の知識社会を支援

技術的ポイント

- 将来のサービスやアプリケーションとの互換性
- 災害時や緊急時にも対応
- 知的基盤を形成
- グリーンICTの要件を満足

なぜIPが成功したか？

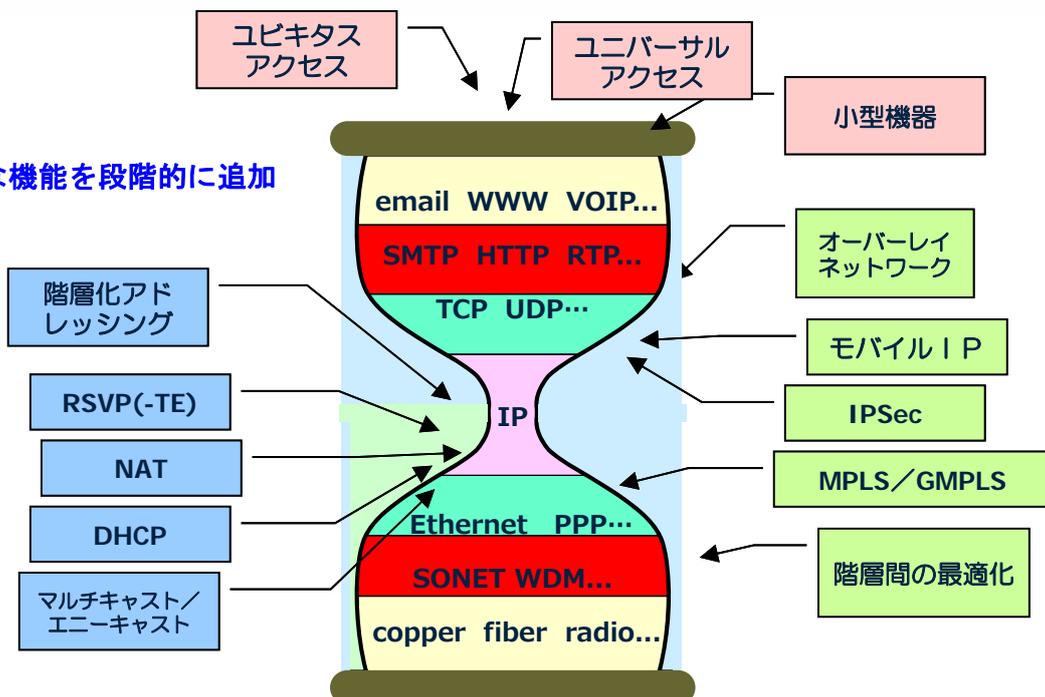
- ▶ 砂時計パラダイム
 - すべてをIPに、すべてにIPを
- ▶ KISS原理
 - 単純かつ愚かに(デビッドアイゼンバーグ)
 - 今日の最適化は明日の障害
- ▶ 単純なネットワーク層: サービスはエンドホストで実現される
 - 拡張可能で堅牢な通信
 - 予測不能な新しいアプリケーションに適応可能
 - 破壊的革新の源泉



現在のインターネットは本当に単純か？

必要な層を段階的に追加

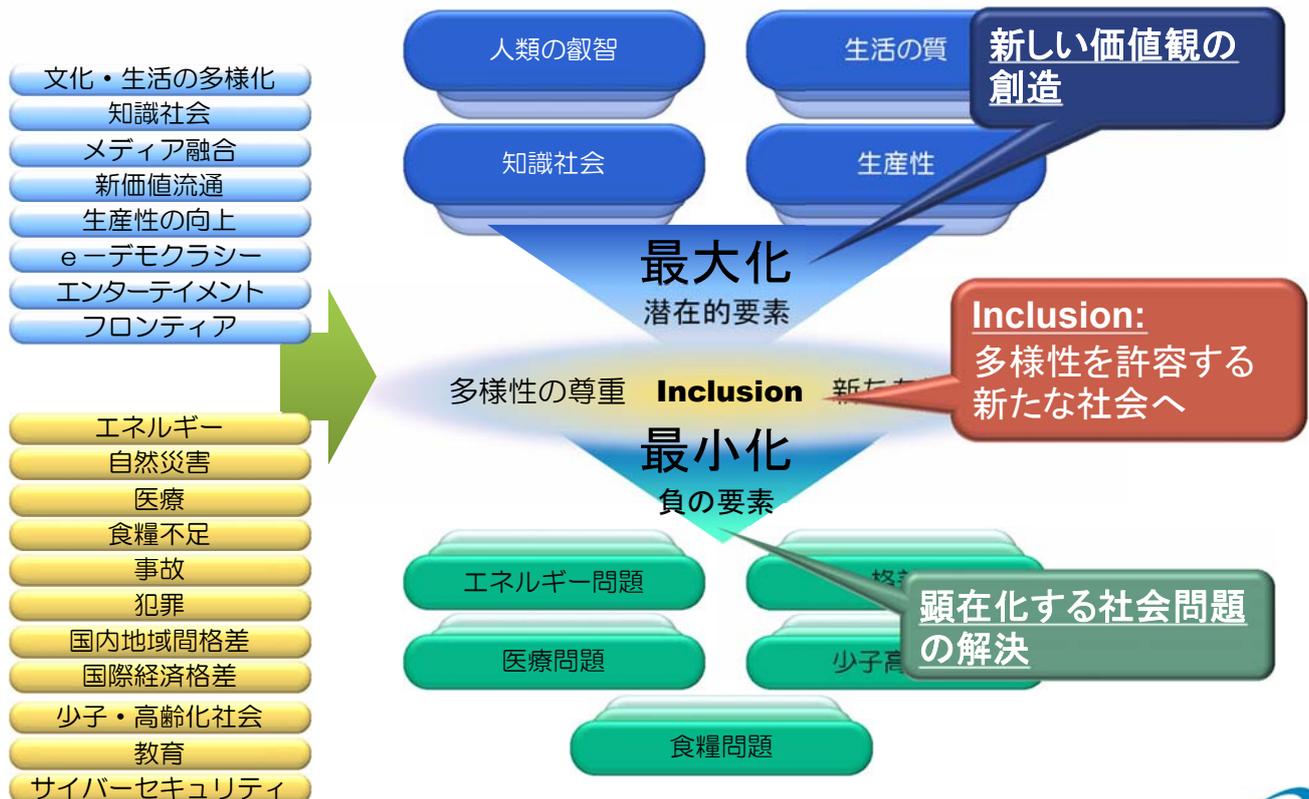
必要な機能を段階的に追加



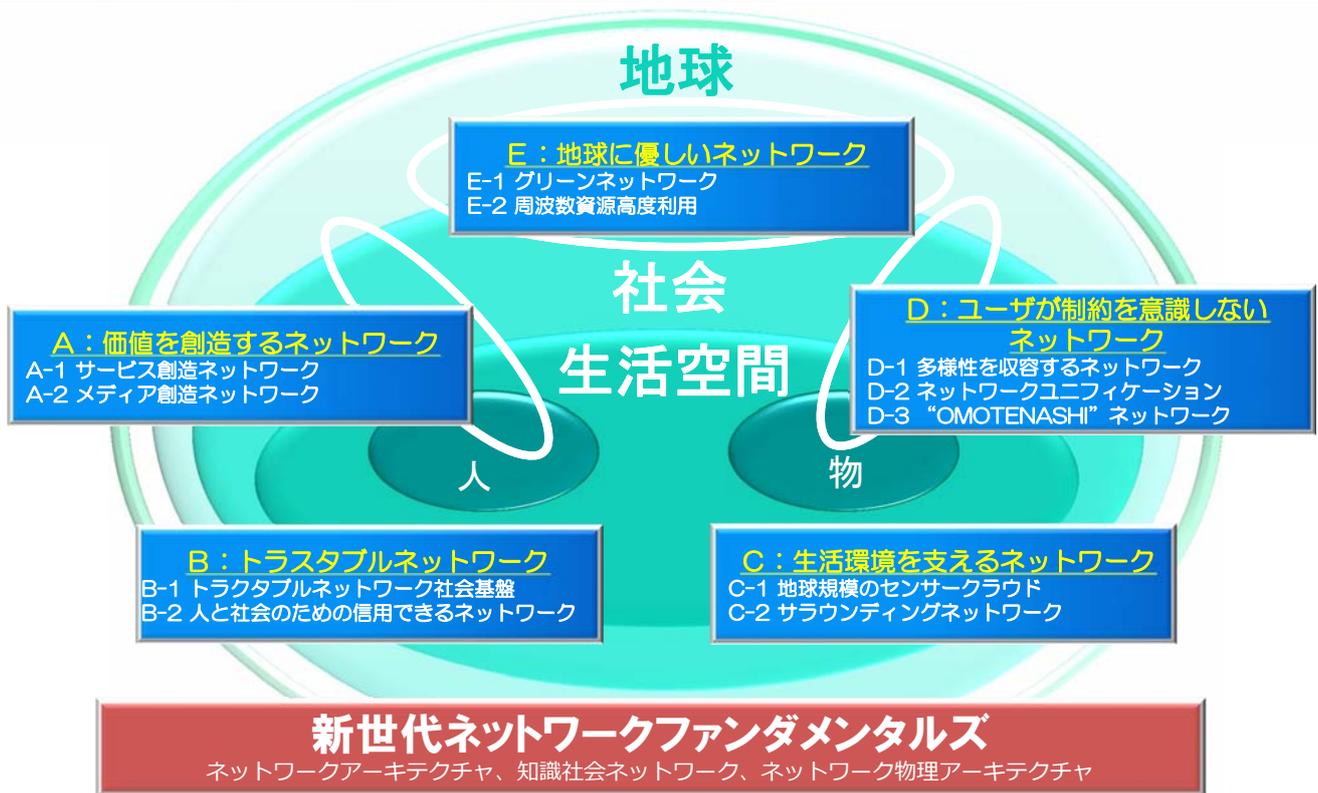
新世代ネットワーク(NWGN)へのアプローチ



NWGNに対するNICTのビジョン



5つのネットワークターゲットと新世代ネットワークファンダメンタルズ



新しい方向性

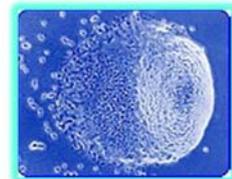


- ▶ 生物系の頑健性、適応性、自己組織化特性を学び取ること
を期待
 - 生物系の環境変化に対する適応性、その結果としての頑健性は、ゆったりではあるが非常に優れている、と生物学者が指摘
 - 生体における自己組織化・自律のメカニズムを通信ネットワークに応用

Ref. The behavior of natural systems may appear unpredictable and imprecise, but at the same time living organisms and the ecosystems in which they live show a substantial degree of resilience. ("Toward Self-Organizing, Self-Repairing and Resilient Large-Scale Distributed Systems," A. Montessor et al. Technical Report UBLCS-2002-10, Sept. 2002.

生物の行動に学ぶ例

オーバーレイネットワークの(資源)共生
異なる細胞、有機体、群れ、種間の共生



波形同期データ取得
ホタルの集団による光の点滅の同期

センサネットにおける拡散反応ベースの制御手法
熱帯魚の体の表面の紋様パターン



拡張性のある経路制御手法
アリの採餌活動

トランスポート層プロトコルの拡張性の高い輻輳制御
経済システムにおけるロトカ=ボルテラ競争モデル



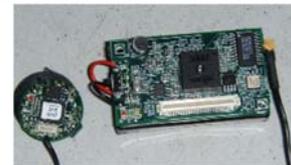
For detailed information, visit at <http://www.anarg.jp/>

センサネットワーク

- ▶ センサ（熱や温度）、無線送信器、バッテリーを備えたセンサノードの集合

- ▶ アプリケーション：

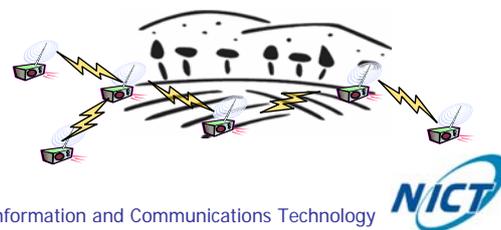
- 健康や福祉（生態反応，安全）
- 犯罪抑制や安全
- 災害回避（火事，山崩れ，洪水，地震）
- 環境（天候，水質／大気汚染）



MOTE2
Crossbow Technology, Inc.

- ▶ 要求条件：

- 大量のノード
- 制御や体系化ができない形で展開
- バッテリーの寿命や故障で動作が止まっても全体が停止しない



定期的なデータ取得

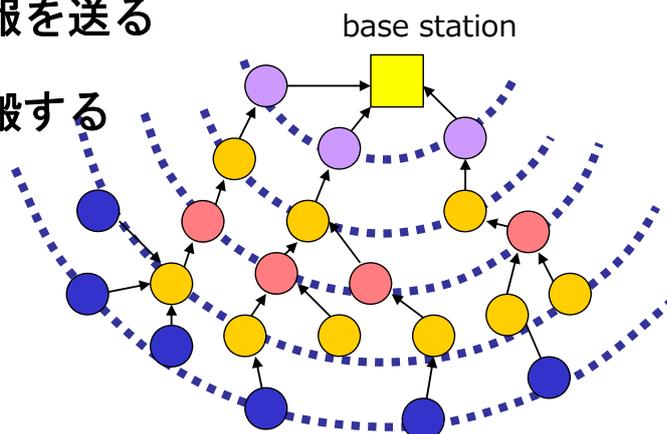
- ▶ 決められた間隔で、すべてのセンサノードから情報を集約

- ▶ マルチホップ通信により消費電力を抑制

- センサ情報はエッジから基地局へ伝搬

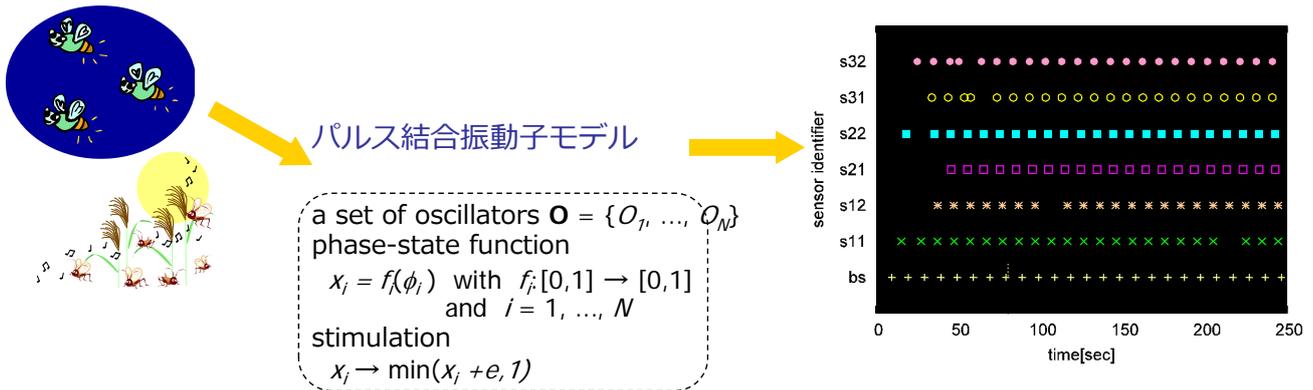
- ▶ 各ノードは、より遠くにあるノードから情報を受けとり、自身が持つ情報とともに集約し、接続するノードに情報を送る

- ▶ 一連の同心円から情報が伝搬する



同期データ取得

- ▶ ホタルの群れは同期して発光する
- ▶ それぞれのホタルは、周囲（隣のホタルの発光）を観察して自分の発光タイミングを決める
→ **完全分散、自己組織性**
- ▶ このメカニズムを採用することで、複数のセンサノードは、中央制御をしなくても同期するようになる



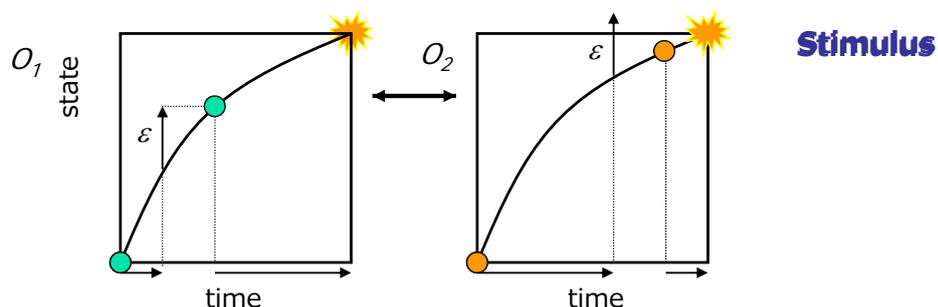
22

National Institute of Information and Communications Technology



Pulse-Coupled Oscillator Model

- ▶ A set of oscillators $O = \{O_1, \dots, O_N\}$
- ▶ Oscillator O_i has phase $\phi_i \in [0,1]$ and state $x_i \in [0,1]$
 $x_i = f_i(\phi_i)$ with $f_i: [0,1] \rightarrow [0,1]$ and $i = 1, \dots, N$
- ▶ When state x_i reaches 1, the oscillator fires
- ▶ A coupled oscillator O_j is stimulated and raises its state
- ▶ When oscillator O_j also fires from stimulus, both are synchronized

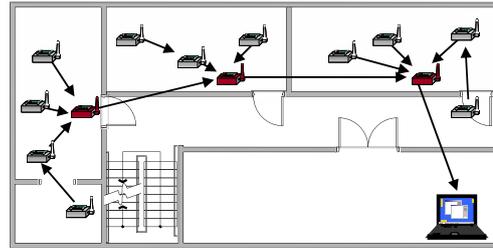
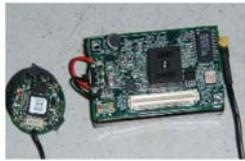


23

National Institute of Information and Communications Technology



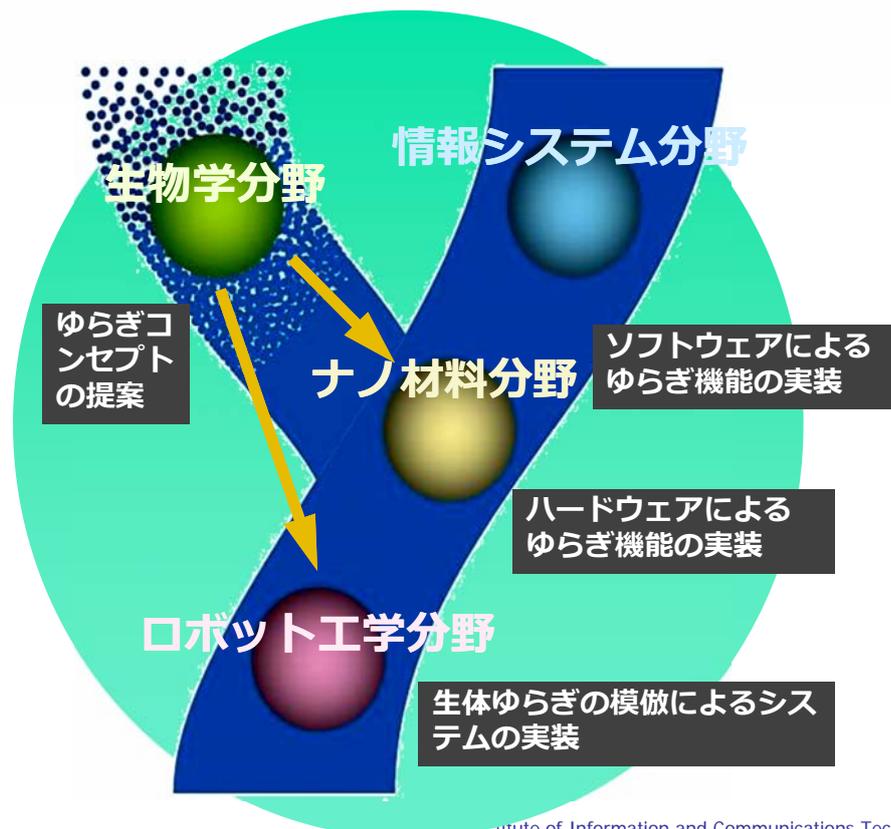
センサネットワーク



▶ ランダムに分散された大量のセンサから定期的な間隔で、省電力にセンサ情報を取得する

- 簡素で簡単に実装しやすい
- 完全分散制御、自己組織型
- 長時間持続するセンサネット
- センサノードの初期化や、慎重な（配置等の）設計が不要
- センサノードの追加、削除、移動に適応
- データ取得の頻度の変化に適応

4分野の学際的研究



「ゆらぎ」の応用分野

生体ゆらぎの解析

生物模倣人工筋肉

生物模倣センサ

セキュアで信頼性のある情報システム

ゆらぎプロセッサ

安全で相乗性のあるロボットシステム



遺伝子発現における熱変動による環境への適応

← 環境変化
環境1

ゲルタミンの欠乏

アトラクター1

← 元の環境

大腸菌

アトラクター1 アトラクター2

→ 環境変化 →
環境2

テトラヒドロ葉酸塩の欠乏

アトラクター2

ゆらぎの一般式

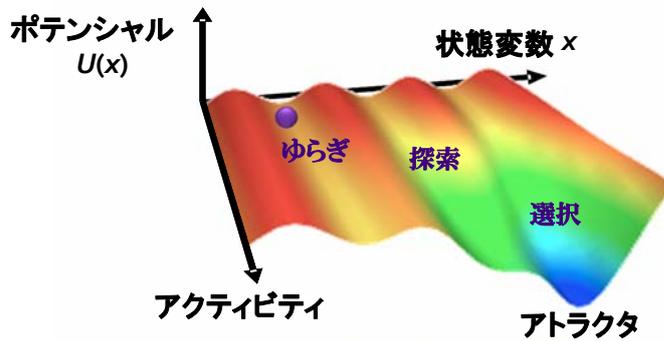
$$\frac{d}{dt} x = f(x) \cdot \text{activity} + \eta, \text{ where } f(x) = -\frac{dU}{dx}$$

- 遺伝子発現でactivity (ゆらぎ探索) を最大化することにより、最適な状態 (アトラクタ) を選択する



ゆらぎ方程式の解釈

$$\frac{d}{dt} x = f(x) \cdot activity + \eta$$



28

National Institute of Information and Communications Technology



生物理論的なアトラクタによる経路制御

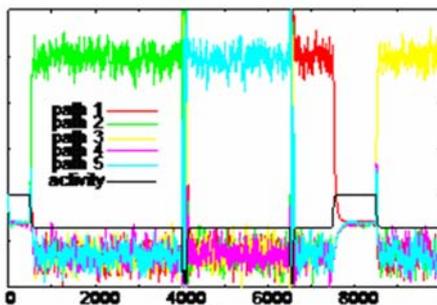
常にゆらぐ通信状況を監視して、
適応的で反応が早い経路制御を実現

$$\frac{d}{dt} x = f_B(x) \cdot activity + \eta$$

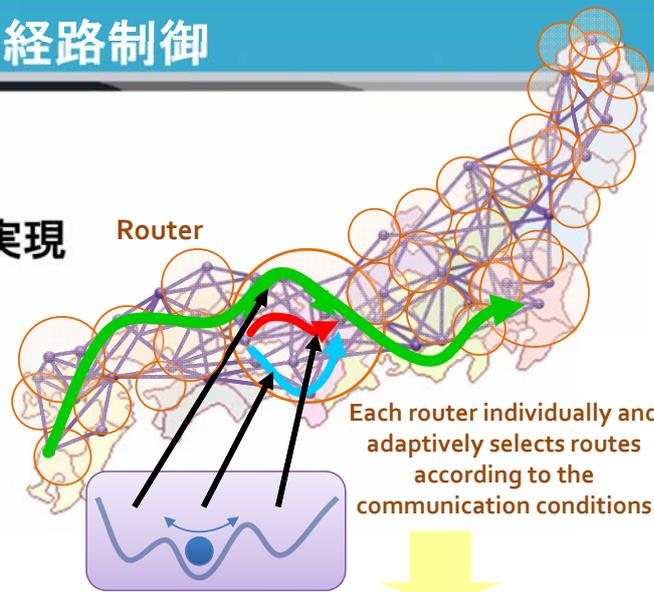
Probability for selecting routs

Noise

$$\frac{dx}{dt} = \frac{s(activity)}{1 + \max(x)^2 - x^2} - d(activity)x + \eta$$



Probability of route selection



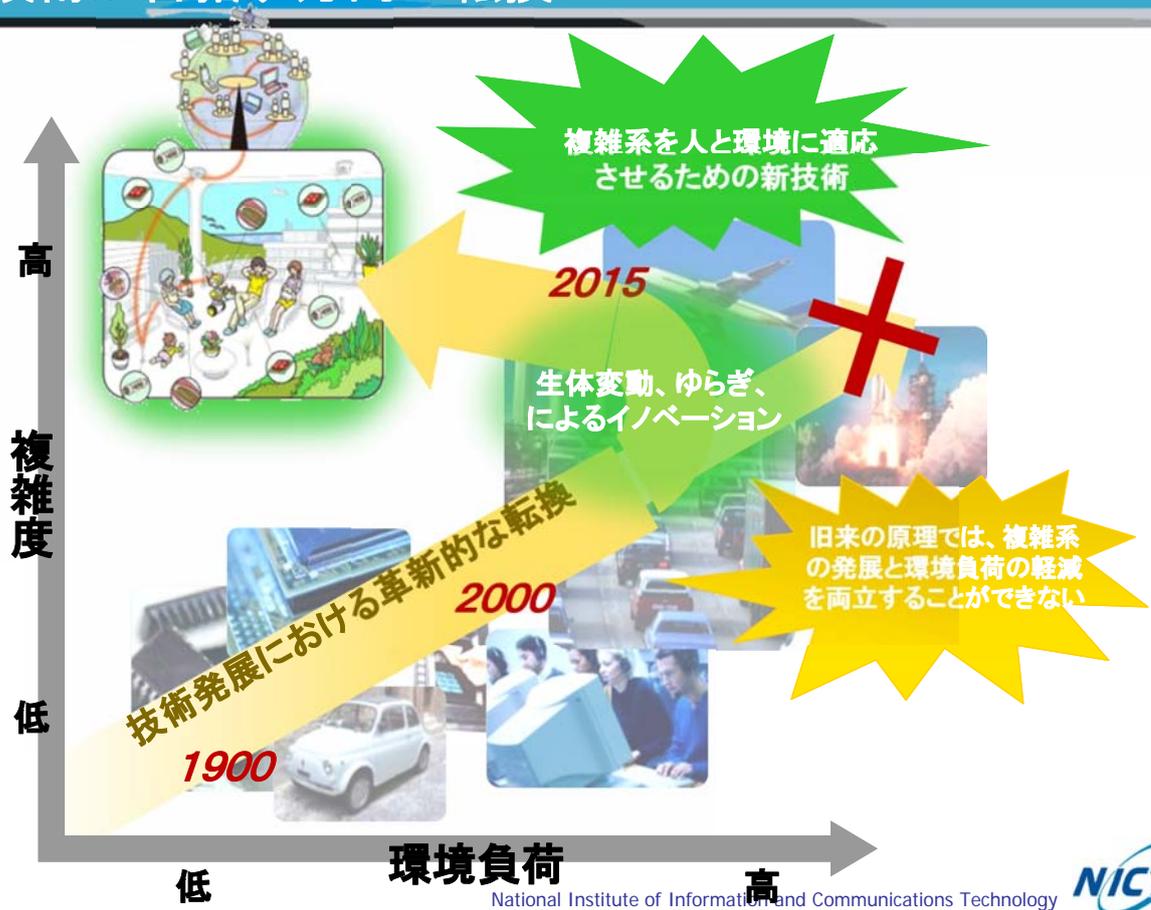
1万ルータがありそれぞれが5つの経路パターンを持つとする。普通の経路制御は最適化に 5^{10000} とおりの計算が必要。一方、生態機能を応用すると平行に5つのパターンを選ぶだけになる。
事故時の短時間での回復や負荷変動などの環境変化へのすばやい適応

29

National Institute of Information and Communications Technology



科学技術が目指す方向の転換

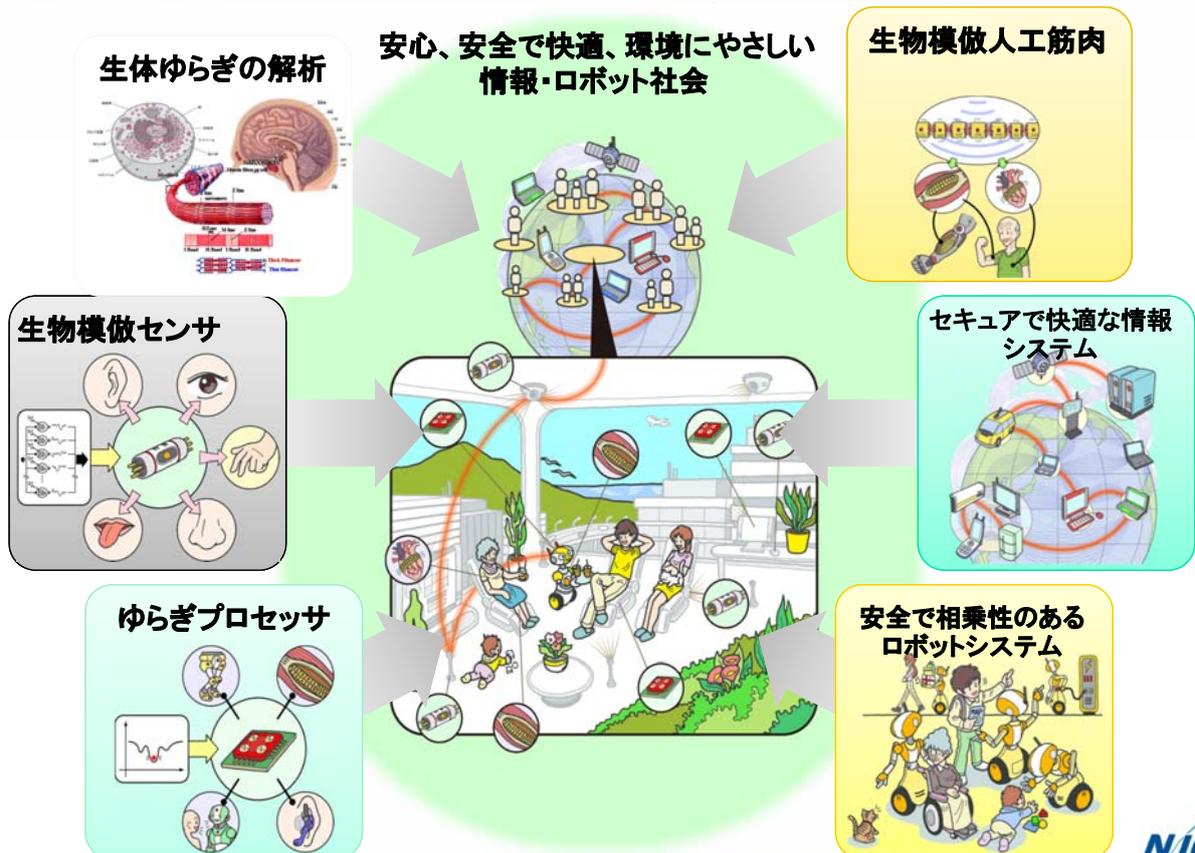


30

National Institute of Information and Communications Technology



イノベーションで実現される未来社会



31

National Institute of Information and Communications Technology



ご清聴、ありがとうございました。