



有線無線融合ネットワークのための DTN*技術

* Delay/Disruption/Disconnection Tolerant Networking

永田晃¹, 山村新也¹, 鶴正人²

¹情報通信研究機構 大手町ネットワーク研究統括センター

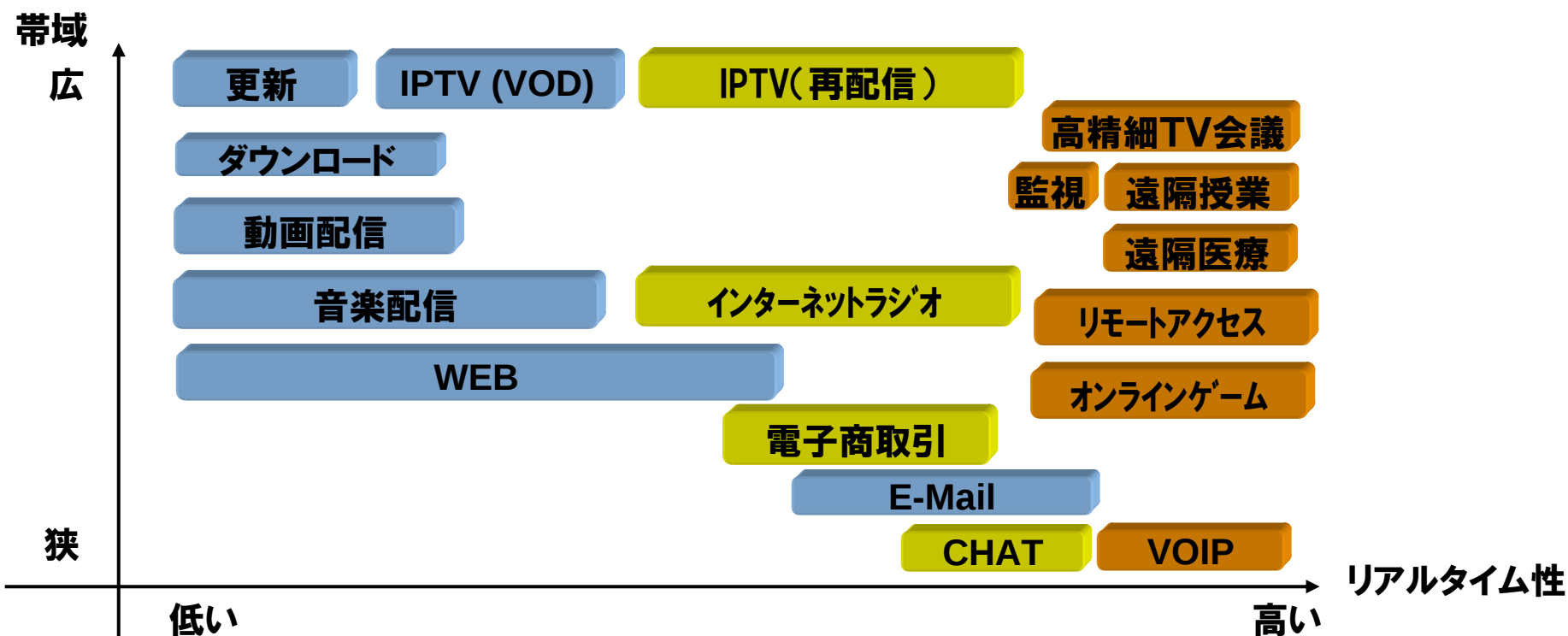
²九州工業大学 ネットワークデザイン研究センター

発表の流れ

- 研究背景
- 有線無線融合ネットワークプラットフォームとDTN技術
 - 複数ネットワーク統合型データ転送方式
 - 蓄積運搬型データ転送を利用する仮想ネットワークアクセスインフラ
- 実験アクティビティの紹介
- 新世代ネットワークとDTN

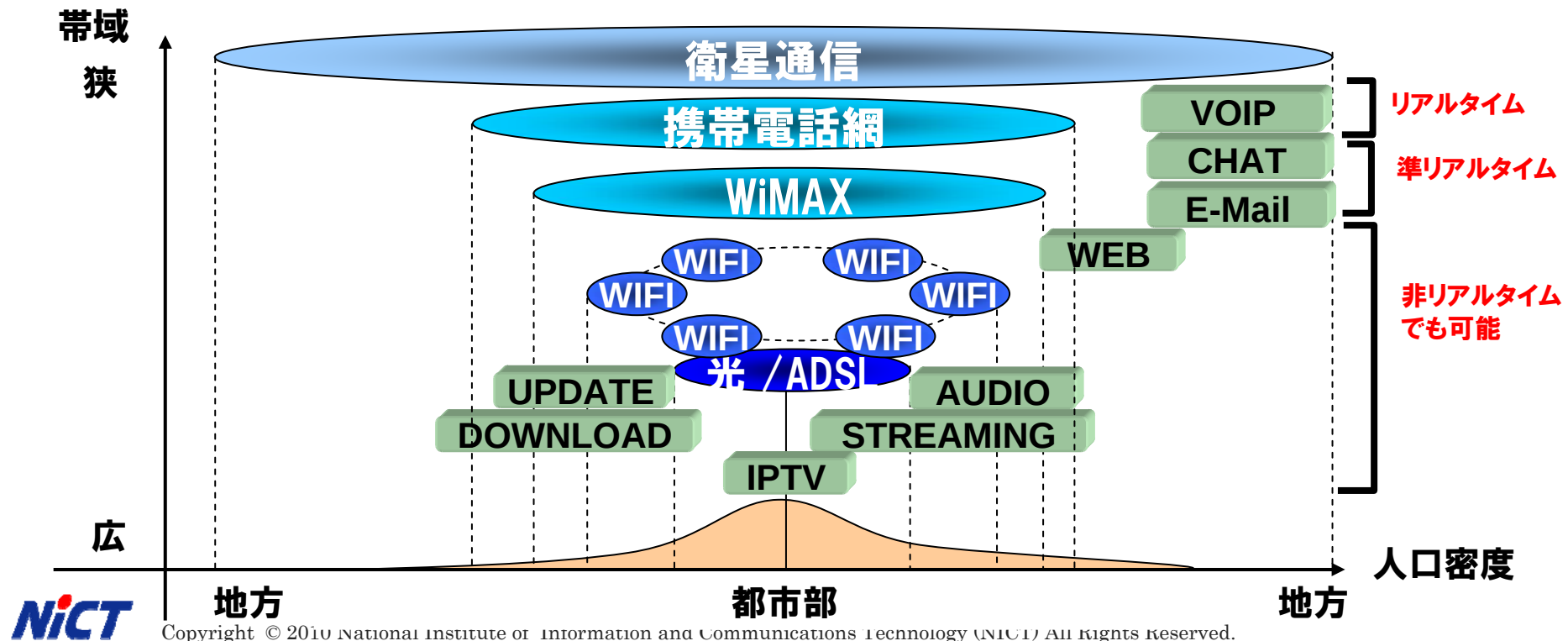
アプリケーションの多様化

- 多様なアプリケーションが有線無線インターネット上で混在
 - 大規模性、複雑性はますます増大する
 - コストとユーザインタフェースが重要
- 非実時間、大容量、広域な情報流通を低コストで効率よく行う必要性
 - 実時間性と必要帯域は比較的相反する
 - 広域の移動・分割・非同期転送



有線・無線融合ネットワークプラットフォーム

- 多様な有線無線が融合されたこれからのインターネット
 - 多様な有線・無線インフラNW + 多様な無線アドホックNW
 - 多様な要求条件：性能、**コスト**、**省電力性**、**堅牢性**、安全性、公平性等
 - 最終的なアプリが経験する性能が重要（**QoE**）
- 新しいインターネット技術・プラットフォームが必要
 - 今のインターネットは無線や移動体を十分に想定して設計されていない
 - 環境状況、利用状況、アプリ特性に適応的な資源利用・割当
 - 実時間 & 非実時間通信、大容量 & 小容量、長期 & 短期継続



有線・無線融合ネットワークプラットフォーム(2)

- エンドエンドパス上に劣条件・劣環境NWが1箇所以上存在
 - 無線、移動体、障害時・災害時、、、
 - 超高速なバックボーンNW技術や、局所的な無線・ハンドオーバ技術だけでは対応できない
- 複数（多数）のユーザが資源を競合・共有
 - 多様なアプリと多様な要求、公平性、、、

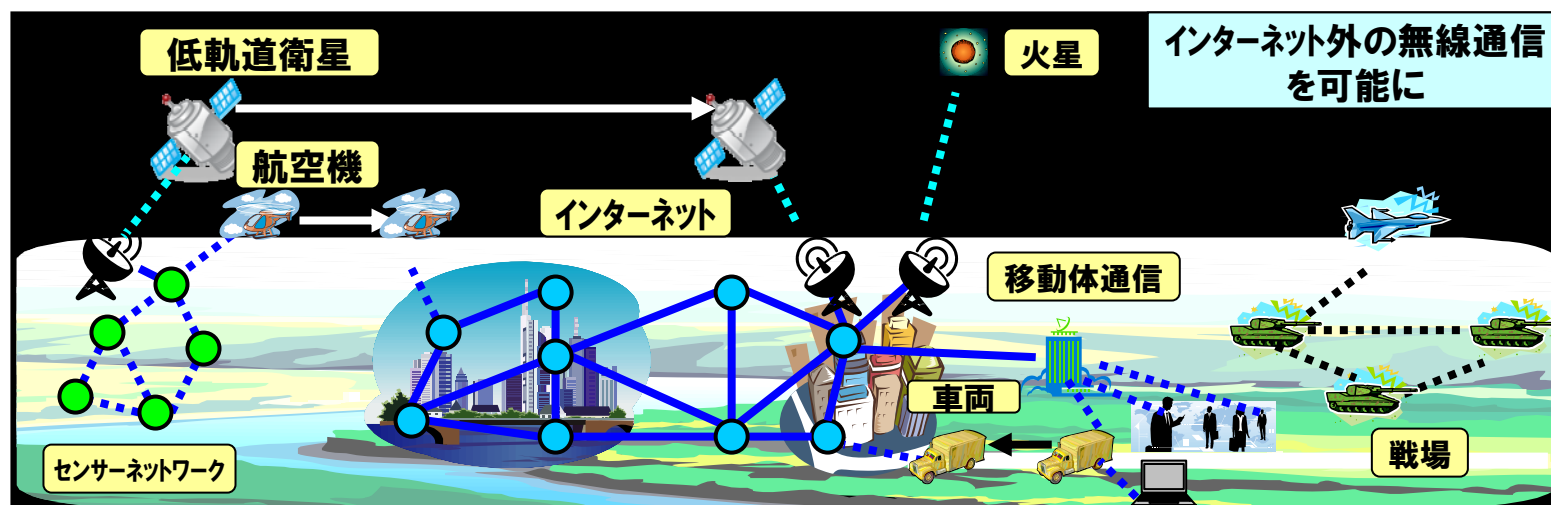
↓
- ネットワーク内部での様々な新機能と様々なトレードオフ
 - まとめる、まぜる：効率化
 - 分ける、繰り返す：耐性
 - 待つ、待つ+運ぶ：時間・空間の不連続性を超える

↓
- プラットホーム＝特定アプリ向けでないミドルウェア
 - 紙の上のプロトコルやアーキテクチャだけでは進まない
 - 現在実現可能な技術を使って様々なアプリを実験できるテストベッド
 - 新世代インターネットのアーキテクチャ検討への寄与

DTN技術

D(elay/isruption/isconnection) Tolerant Networking

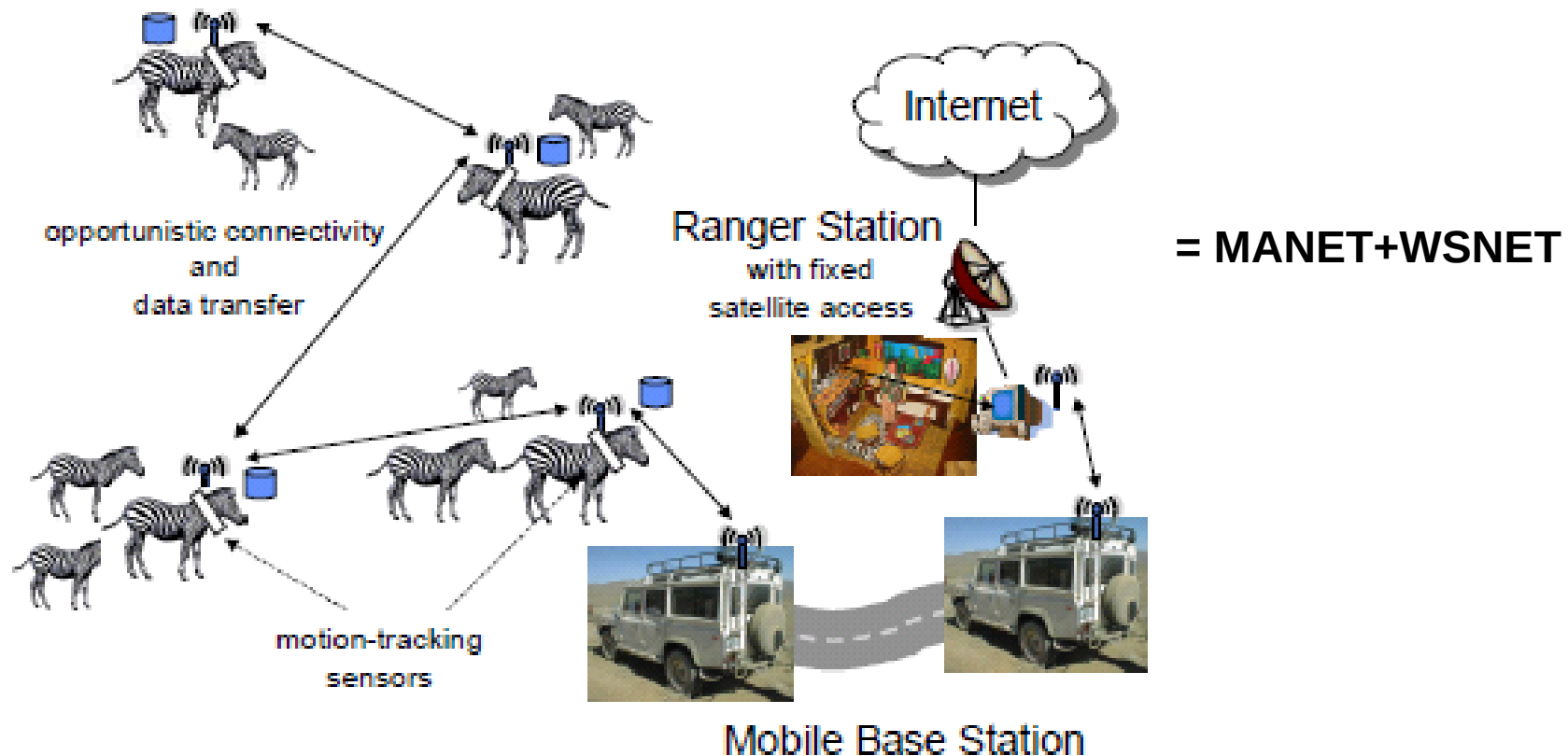
- 無線や移動体を想定して設計されていない旧来のTCP/IPやDNSを補完する、例えば以下が成り立たない環境での通信
 - 通信中にEnd-to-Endの通信パスが常時存在（パケットロスも少）。
 - 即時的安定的なフィードバックに基づく再送やレート制御が可能
 - 通信開始時に送信先のアドレスが確定していて知ることができる。
 - 通信経路を一つ選ぶだけで必要な通信性能が達成可能、等々
- 当初は特殊環境（宇宙、移動センサー、海中・北極圏など）通信のために出てきたが、有線無線融合インターネットにも不可欠な汎用的技術



無線通信と有線ネットワークの融合には、高遅延やネットワークの断続性の克服が必要

DTN技術適用の例 (ZebraNet)

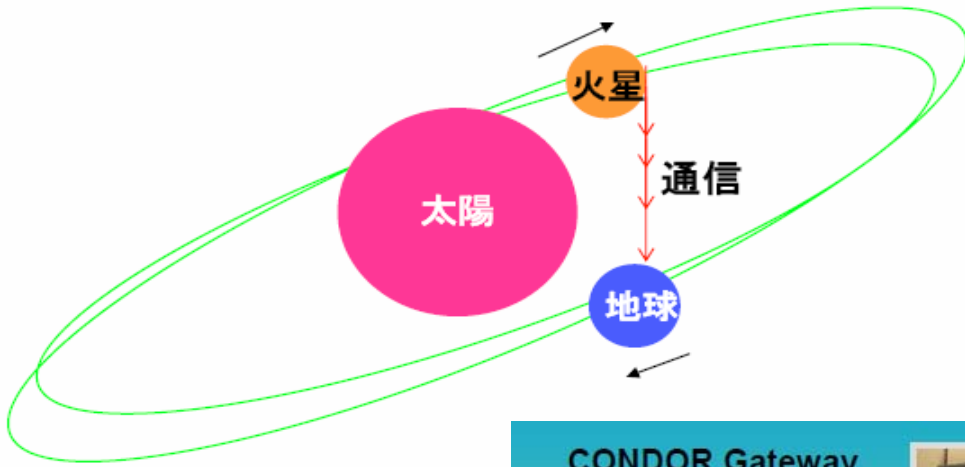
ZebraNet: ケニアの高原で35000頭のシマウマの移動パターンを収集するプロジェクト。首輪にセンサーをつけたシマウマはGPSによって移動情報を蓄積し、他の首輪をつけたシマウマとその情報を交換。観測車は、近くを通りかかったシマウマから情報を収集し、基地へ戻る。



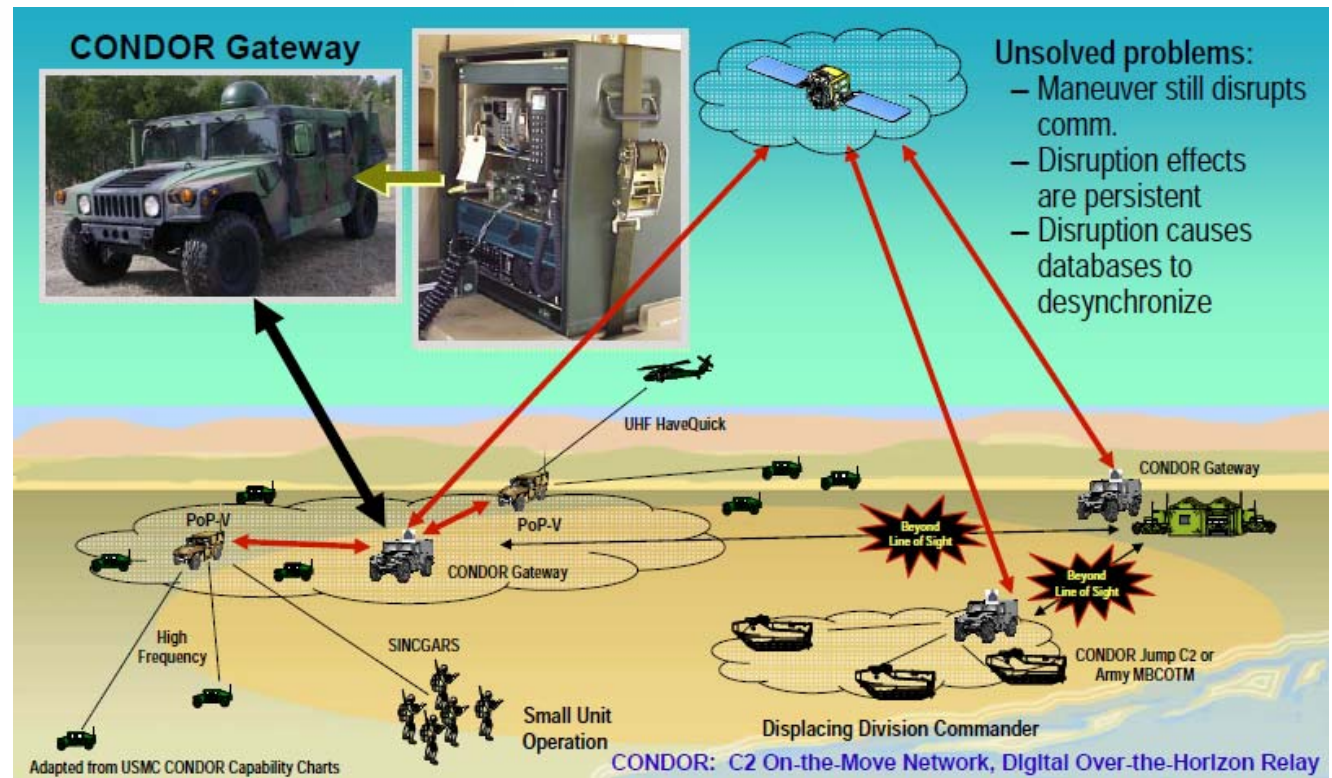
The ZebraNet sensors have eventual connectivity with the Internet via several mobile and stationary intermediaries.

From <http://www.dtnrg.org/docs/papers/dtn-secon04-poster.pdf>

DTN技術適用の例（IPN, 軍事用途）

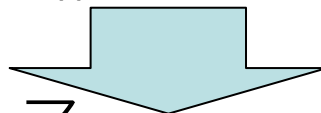
惑星間インターネット
(IPN: Interplanetary Network)

戦地向け通信システム CONDOR



DTN研究のモチベーション

- ZebraNet, IPN →非常に特殊な環境
- もっと一般的なネットワークへの適用
 - 山間部、非都市部、移動体通信. . .
 - 全てのエリアを十分満足のいく高速NWで、且つ現実的なコストで覆うのは不可能
 - 固定インフラにはdeploymentの限界が
 - 無線インフラは、無線技術の限界が
 - カバー領域を広げれば速度が落ちる、アンテナが大きくなりモビリティを損なう、etc
 - ネットワーク速度とアプリケーション要求のイタチごっこ
 - 無線技術が進んでも“劣通信環境”は存在し続けるはず
 - 高いロス率、十分な帯域が確保できない、帯域変動が激しい、断続性が高い、etc



- 当グループの2つの研究テーマ
 - 複数ネットワーク統合型データ転送方式
 - 多種多様なネットワークを効率的に使うことでトータルで品質を向上させる
 - 蓄積運搬型データ転送を利用する仮想ネットワークアクセスインフラ
 - 蓄積運搬技術の現実的な利用形態の1つ
- 様々なアプリケーション実験に参加し、DTN技術の実用可能性を模索

2つの研究テーマ

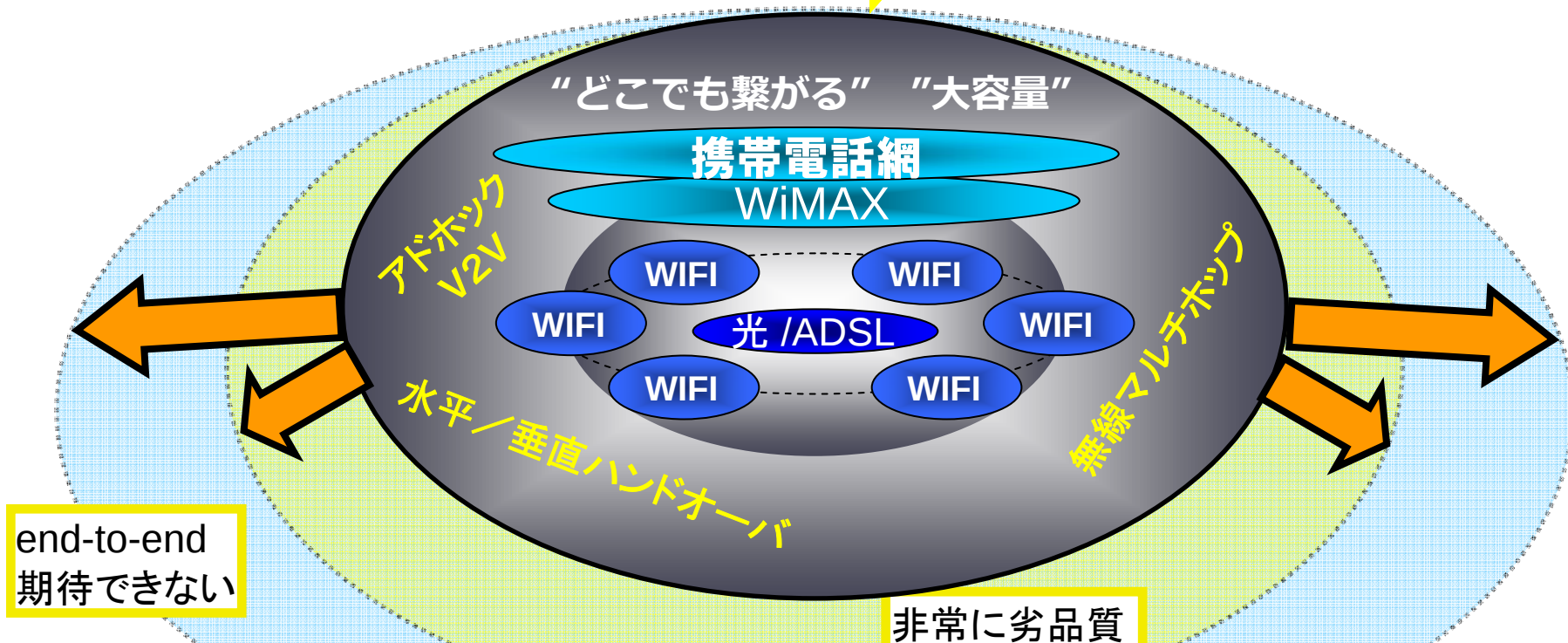
end-to-end
connectivity が....

悪いなりにも存在する環境

複数ネットワーク統合型
データ転送技術

基本的に期待できない環境

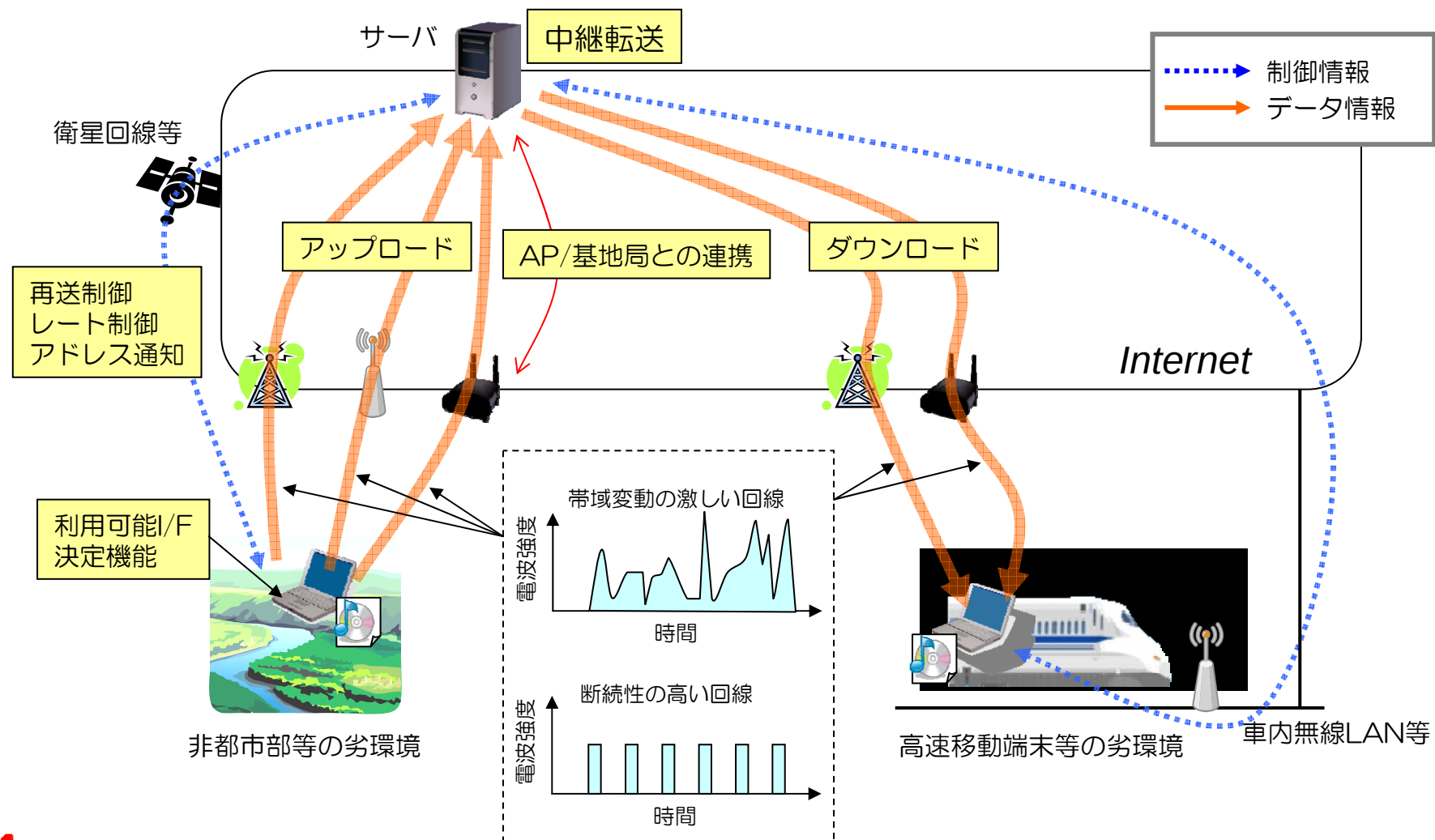
蓄積型データ転送技術



- 複数ネットワーク統合型データ転送方式
- 蓄積運搬型データ転送を利用する仮想ネットワークアクセスインフラ

複数ネットワーク統合型データ転送方式

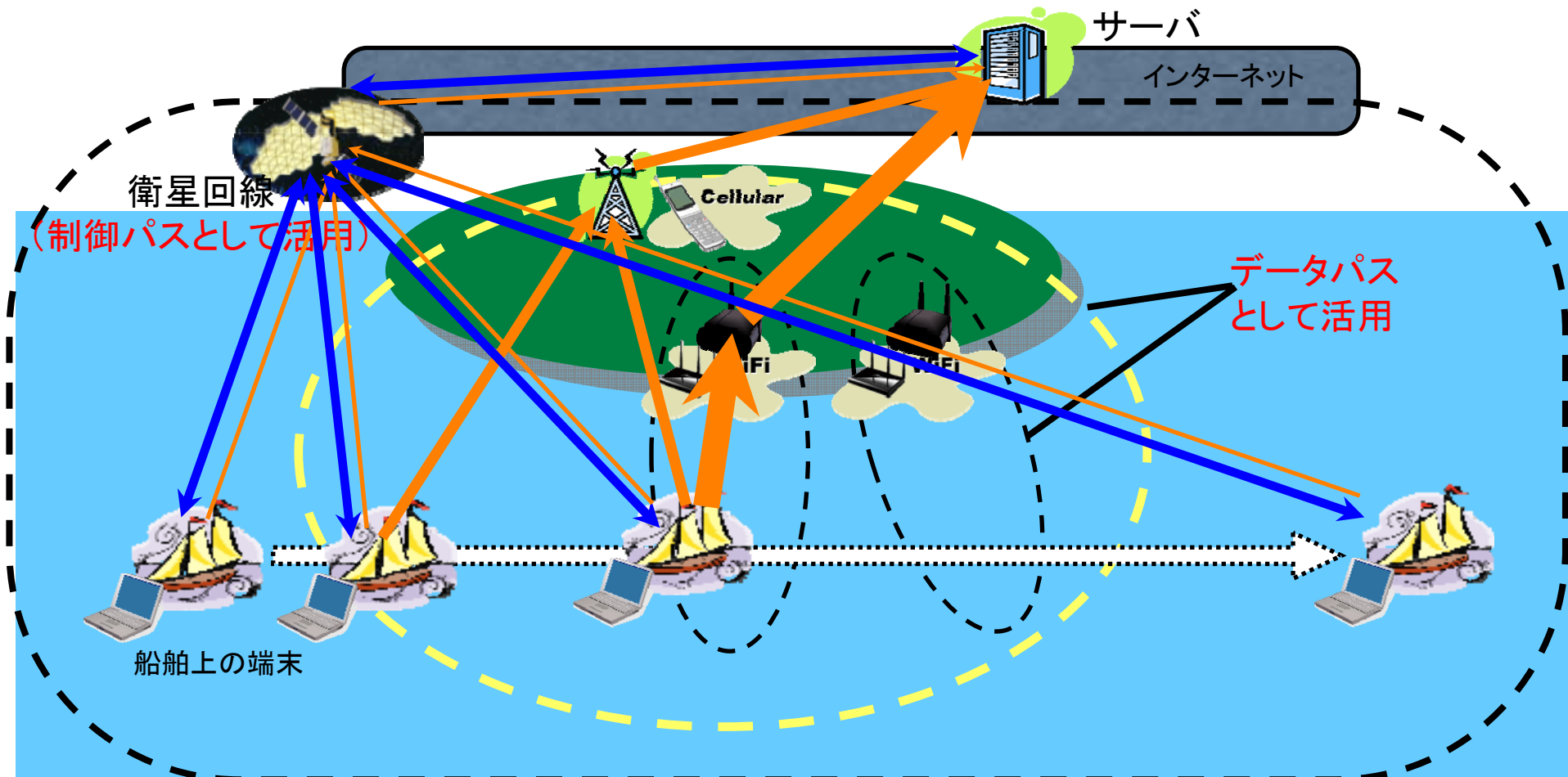
性質の異なる複数のNW(単独では性能が出ない)を同時に統合的に利用して、データ自体の転送とその制御に必要な(転送制御)信号を最適な方法で交換。



複数ネットワーク統合型データ転送の適用イメージ

船舶からインターネット上のサーバへ大容量ファイルをアップロード

- 衛星回線(常時)→データ転送に必要な制御情報交換
- セルラ(島周辺)、WLAN(港付近)→データ転送



エリアが広く安定した回線？

技術実験衛星VIII型 (ETS-VIII)
「きく8号」

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構
(JAXA)

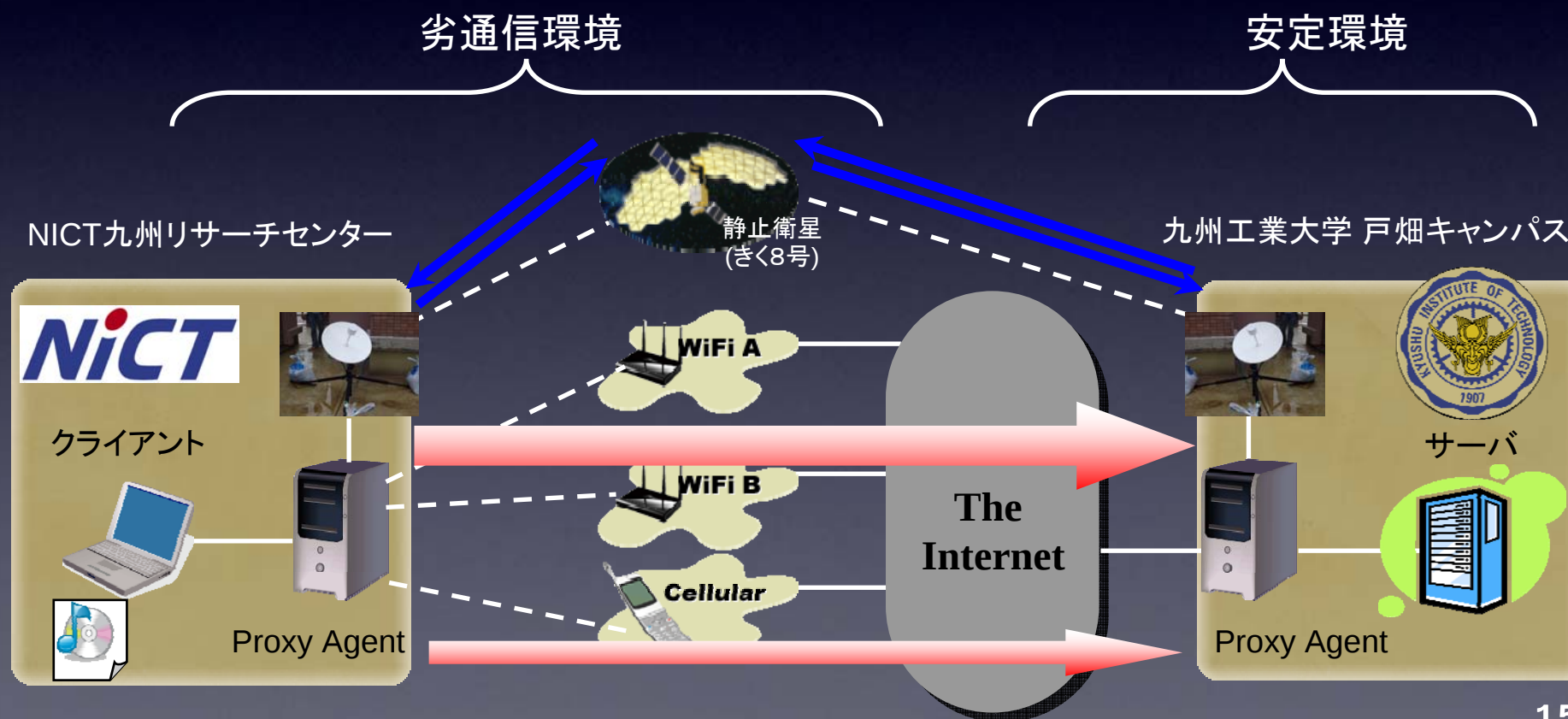
- ✓ 移動体通信をより便利にする世界最大級の静止衛星
- ✓ 日本全域をカバー
- テニスコート2面分の超巨大アンテナにより、超小型の地上局端末でも衛星と直接通信が可能

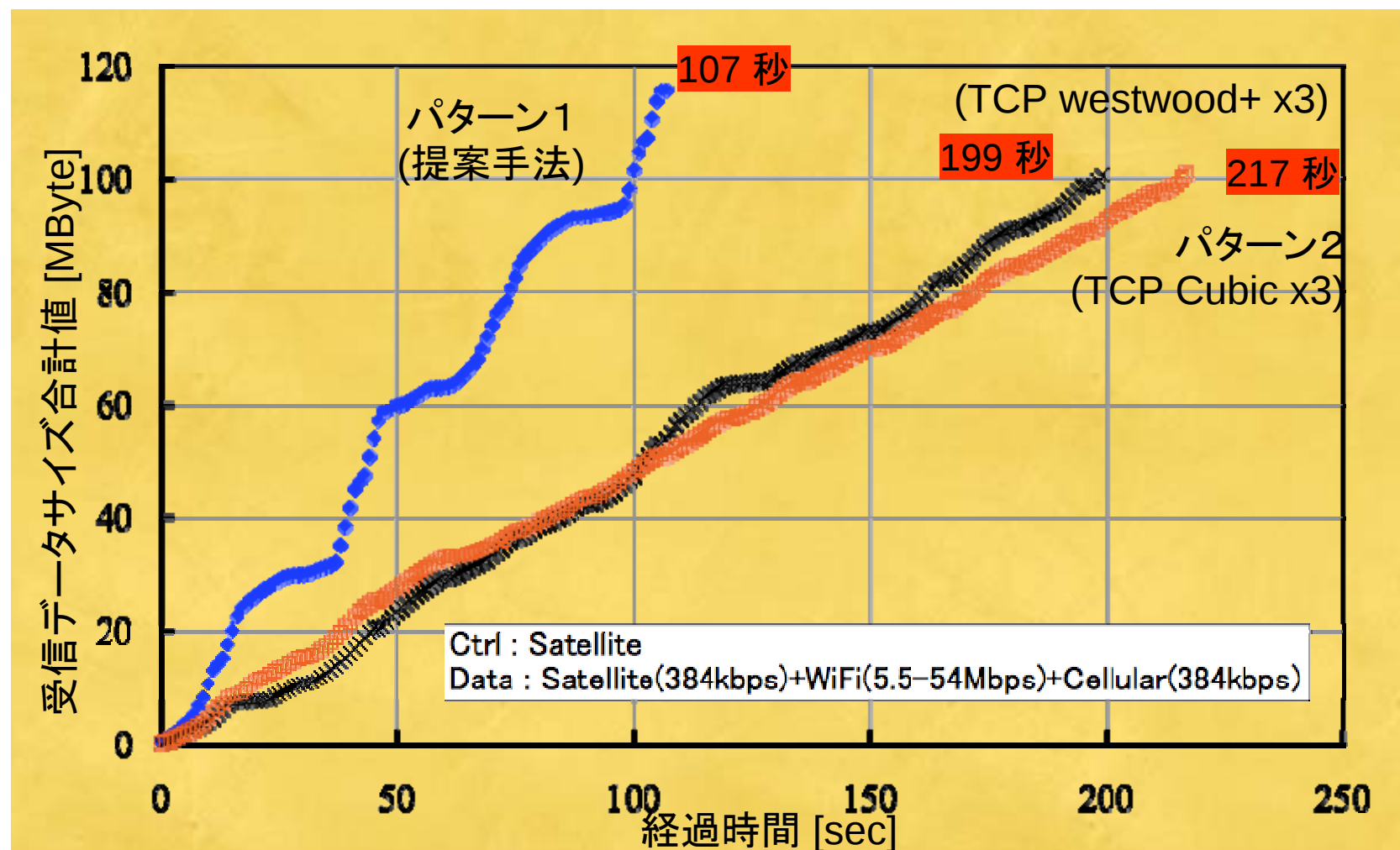


実証実験(2008年5月)

- 提案手法のプロトタイプシステムを開発し、実証実験を行った。

衛星回線(きく8号)	64 or 384 [kbps]	→ 制御パス
無線LAN(802.11g)	5.5, 11, 54 [Mbps]	→ データパス
セルラ(3G)	384 [kbps]	→ データパス

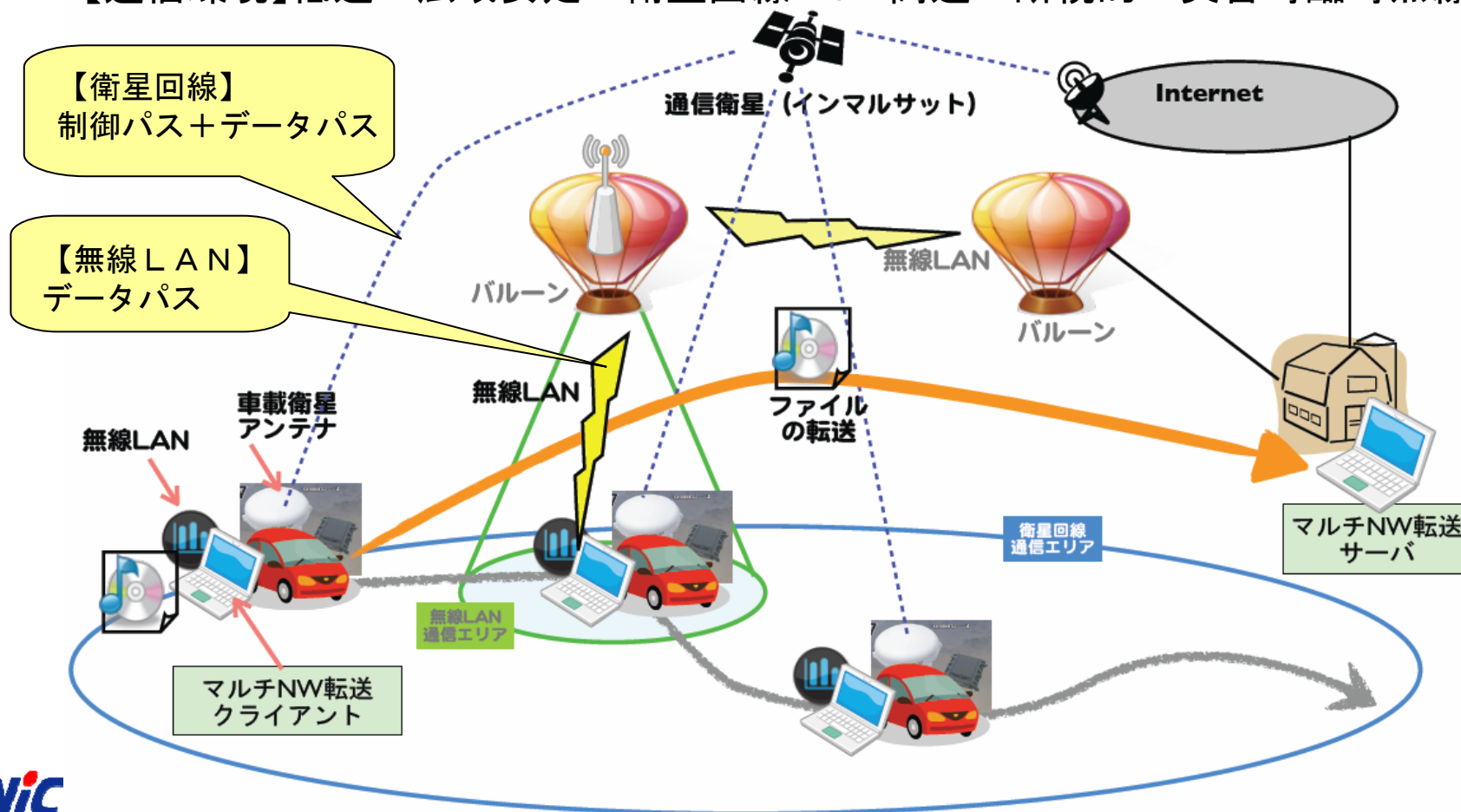




	パターン1 (提案手法)	パターン2 (従来手法)
通信回線		
衛星回線	CTRL (TCP), DATA (UDP)	CTRL, DATA (TCP)
無線LAN	DATA (UDP)	CTRL, DATA (TCP)
セルラ	DATA (UDP)	CTRL, DATA (TCP)

災害時向け臨時ネットワークフィールド実験

- KIAI (九州情報通信連携推進協議会)主催の公開実験イベントに参加して実施
 - <http://www.kiai.gr.jp/misatocyu2009.html>
- 【日時】2009年11月19日～11月20日
- 【場所】宮崎県東臼杵郡美郷町 (いわゆるブロードバンド過疎地域)
- 【通信環境】低速 & 広域安定 = 衛星回線 + 高速 & 断続的 = 災害時臨時無線LAN



実証実験時の様子

無線LAN
ホットスポット

マルチNWシステム
(サーバ側)

車載衛星
(アンテナ)

無線LAN
(中継用)

マルチNWシステム
(クライアント側)
無線LANと衛星の2回線

有線LAN

- 複数ネットワーク統合型データ転送方式
- 蓄積運搬型データ転送を利用する仮想ネットワークアクセスインフラ



研究背景 — 蓄積運搬型通信 —

特徴

- 通信データを、永続ストレージに保管。
- 他の通信可能機器に遭遇時に通信データを転送。
- 通信機会を最大限に生かすため通信データを分割。
- 複数の移動体を伝播して宛先にデータを到達。

研究動向

- IRTF DTNRG (Delay Tolerant Network Research Group) や関連研究機関での研究が活発化。
- 通信インフラ整備が困難な場所への適用を検討。



研究背景 — 蓄積運搬型通信の例 —

■ Epidemic Routing

個々の通信端末がランダムに移動しメッセージのコピーを全ての端末に配信。

■ Throw Box

ThrowBoxと呼ばれる電子ポストを介して、非同期に情報を交換。

■ Data Mules

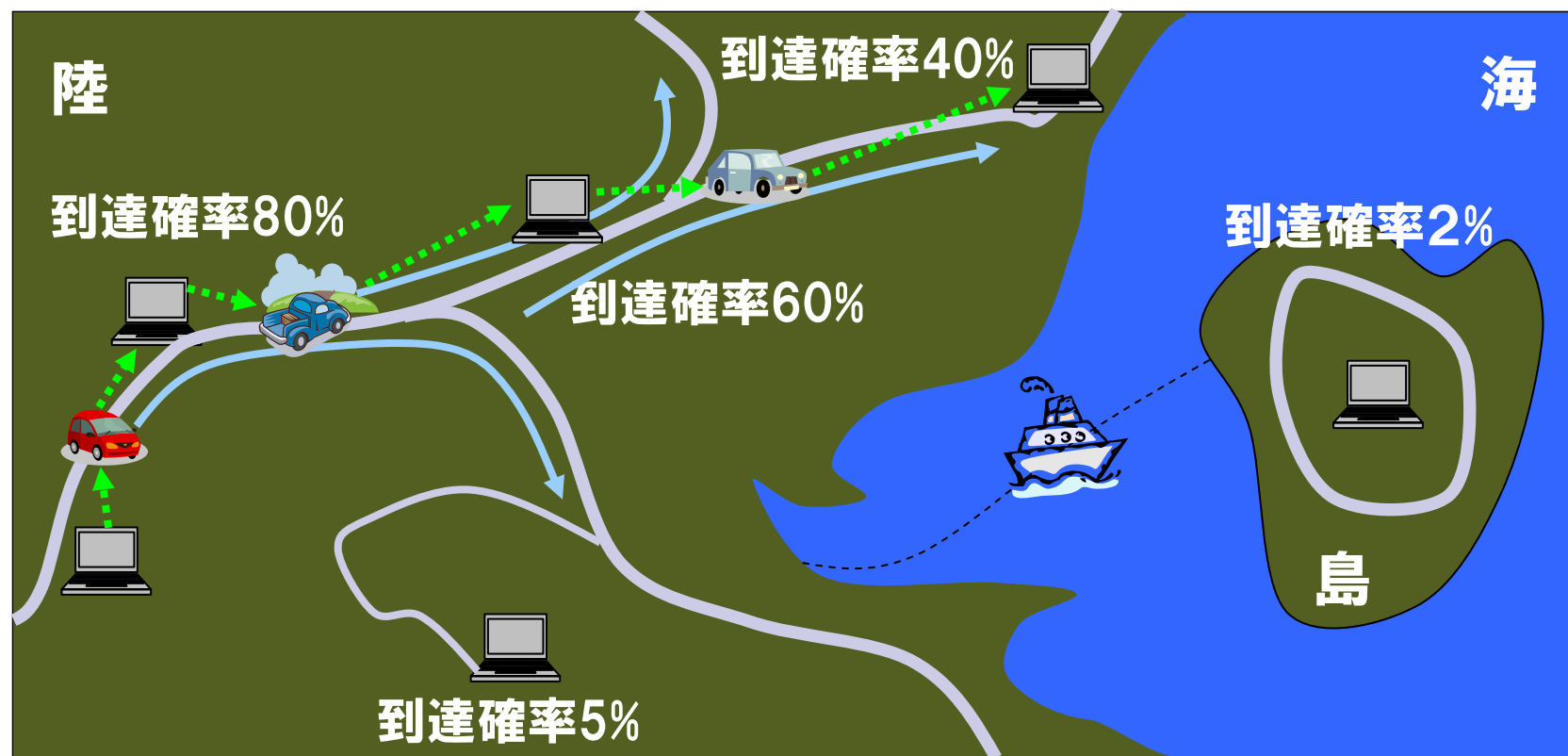
低消費電力のセンサーがばらまかれており、muleと呼ぶエンティティがランダムに移動して情報を収集。

■ Message Ferry

固定ノード間を巡回する移動ノードを用いて情報を交換。

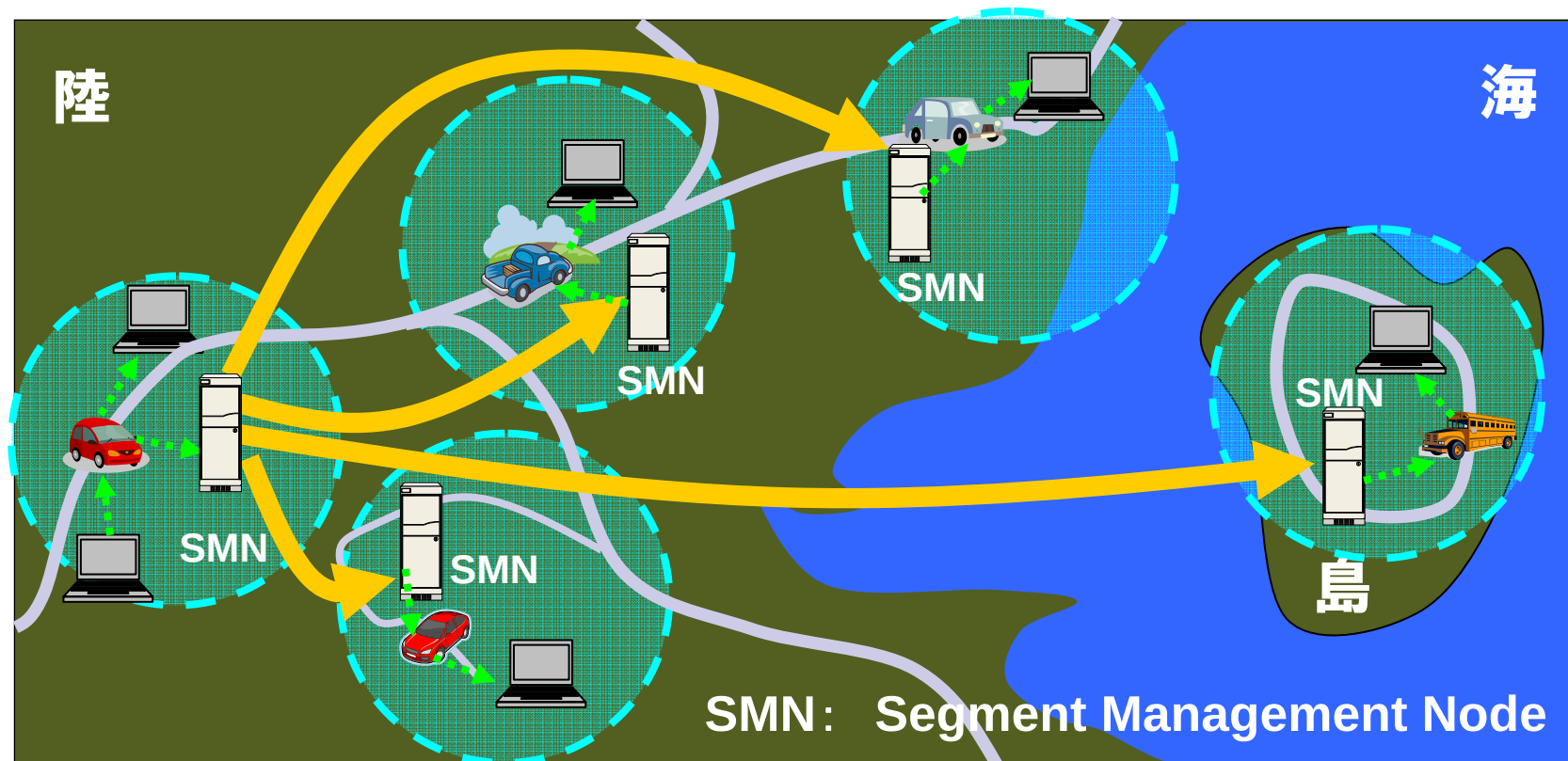
研究背景 — 蓄積運搬型通信の課題 —

- 一定時間内の通信到達確率は、距離に依存。
- 蓄積のためのストレージ容量は有限。
- 離島などの伝播の孤立系

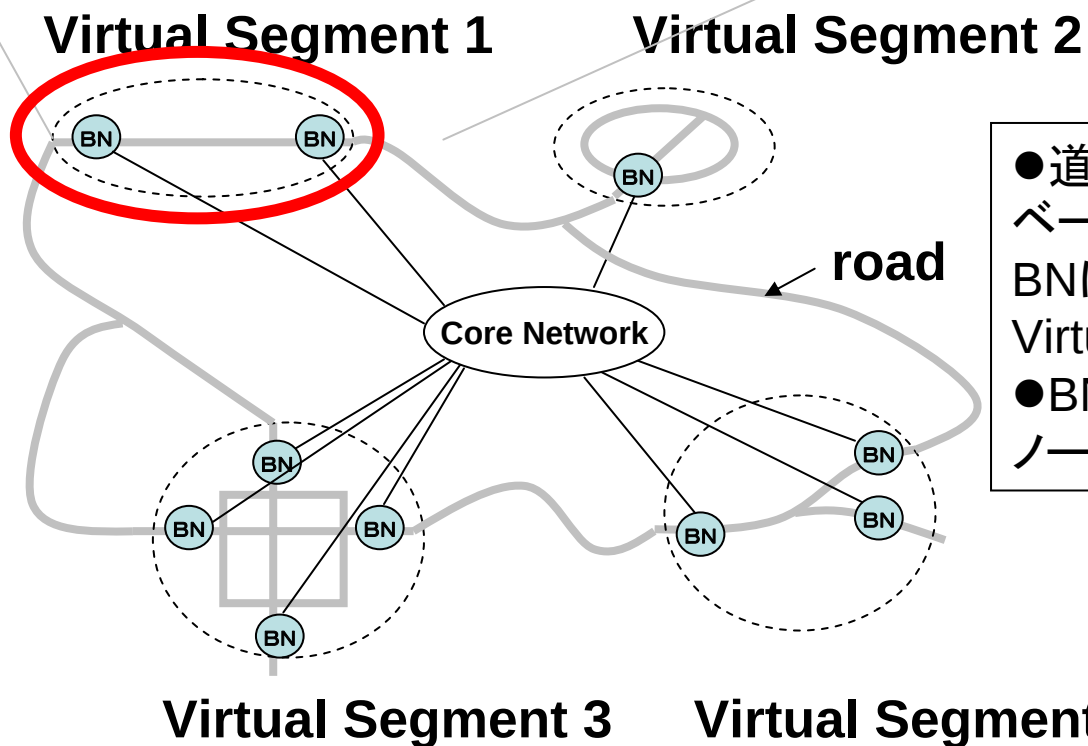
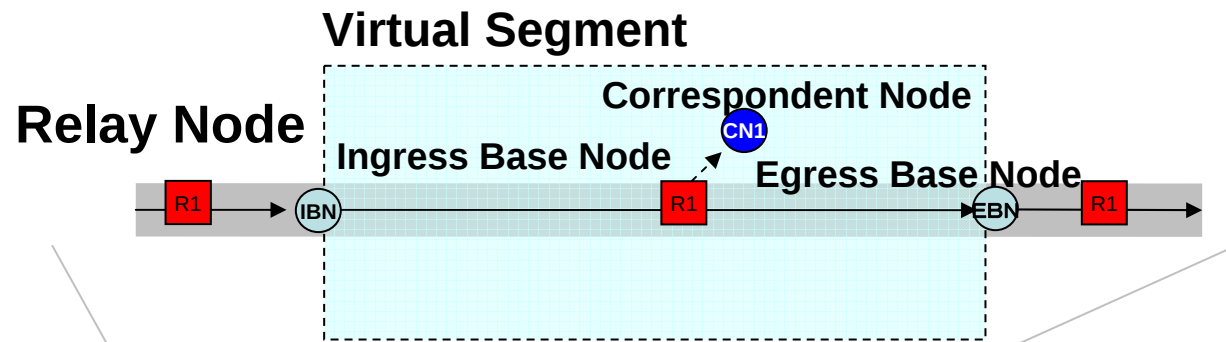


研究背景 — スケーラビリティ実現方法 —

- 伝播エリアを何らかの方法でセグメントに分割
- セグメント間を常設回線でショートカット

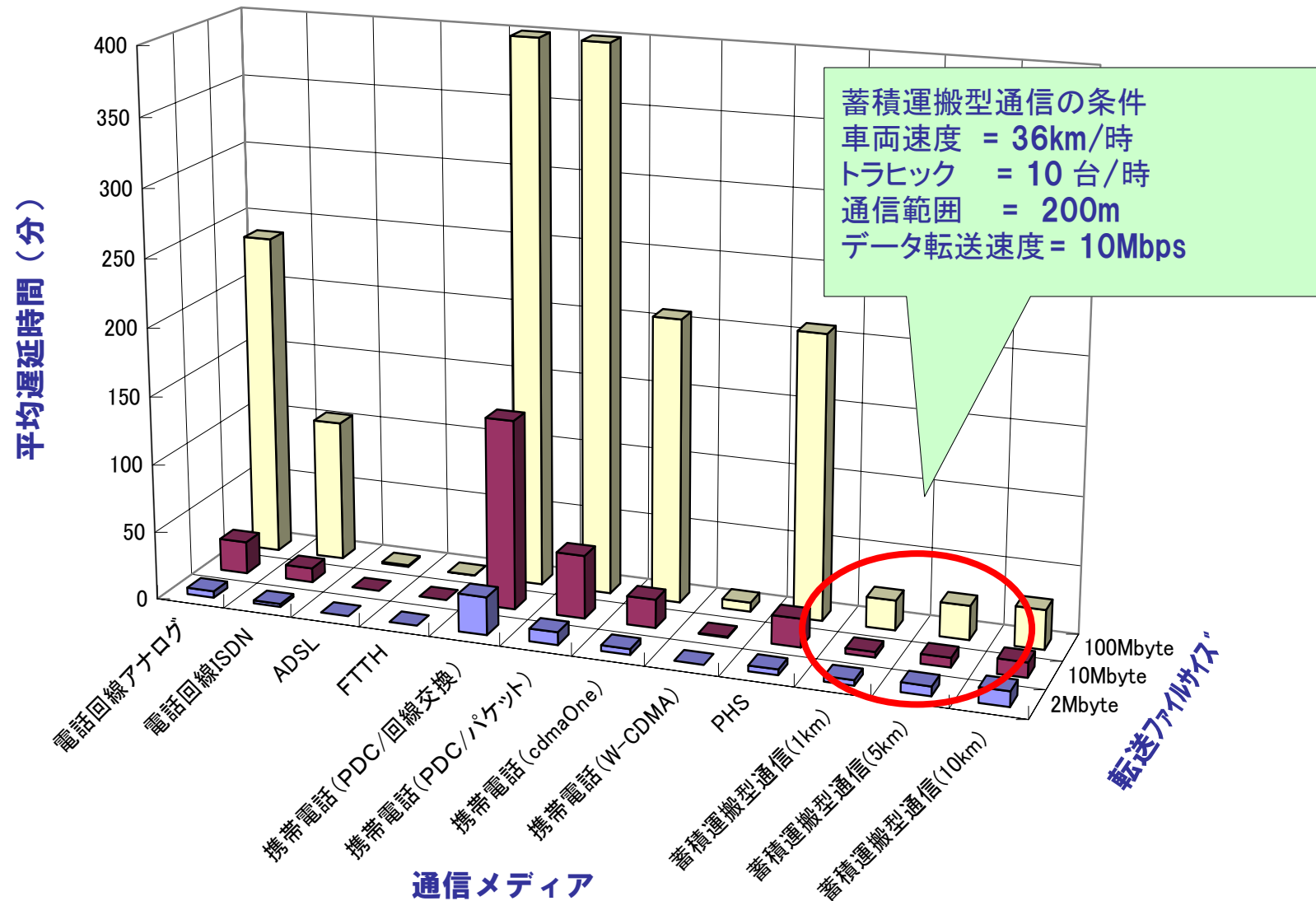


蓄積運搬型転送を用いた仮想ネットワークアクセスインフラ



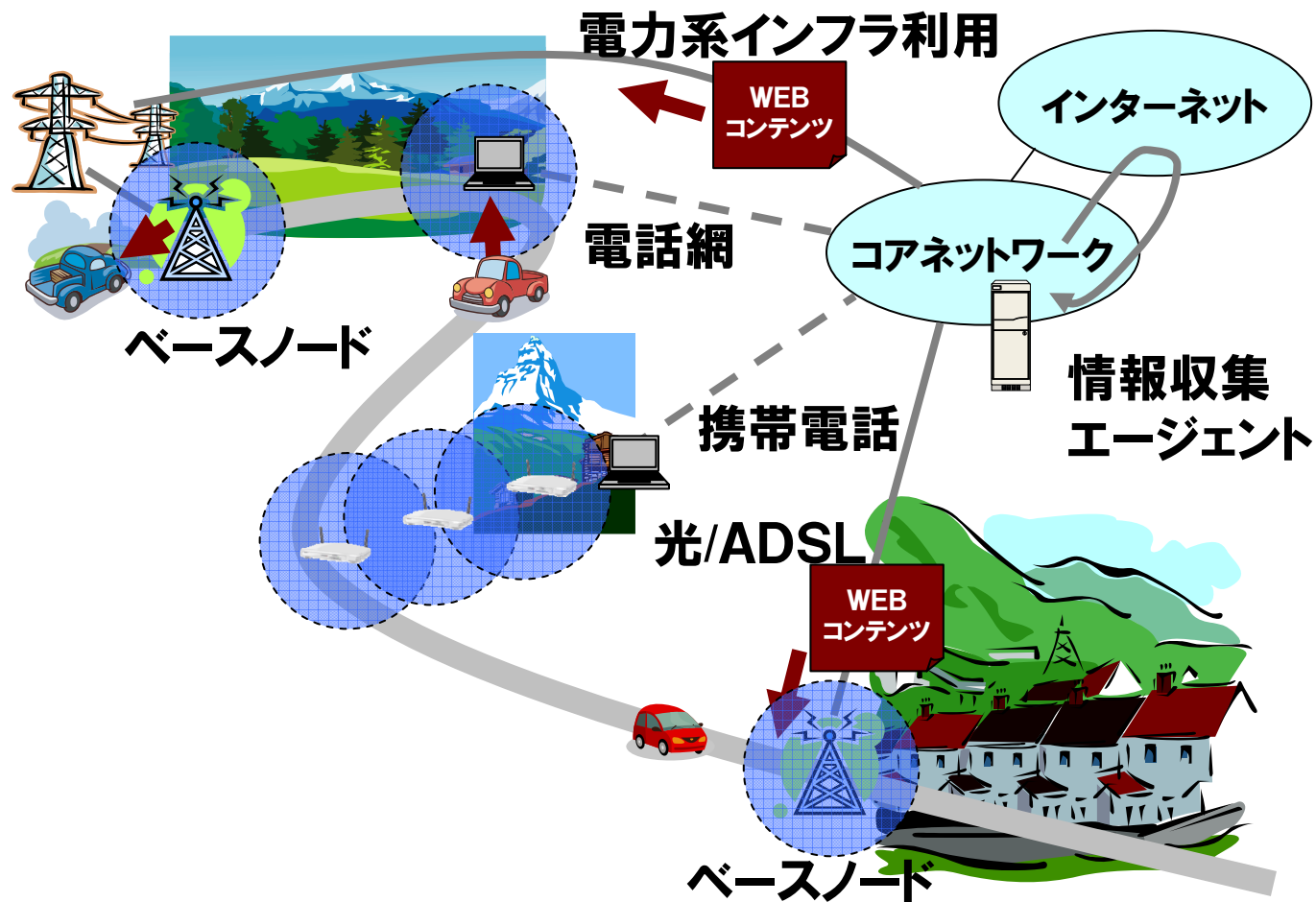
- 道路にそった適切な位置に、ベースノード(BN)が配置され、BNによって囲まれた区域をVirtual Segmentと呼ぶ。
- BN間を通過する車(リレーノードRN)が実データを運ぶ。

蓄積運搬型転送は実用的か？



蓄積運搬型転送を適用したアプリ事例

■ RSS,巡回ソフトと連携したキャッシュ型WEB利用



低炭素社会実験in飯塚2009 ～自動車情報ネットワーク～

- ・ 実験参加組織
 - ✓ 九工大, 西鉄情報システム, 富士通九州ネットワークテクノロジーズ, デンソー九州など
- ・ 協力組織
 - ✓ 福岡県, 飯塚市, 西鉄, 情報通信研究機構など
- ・ 実証実験期間
 - ✓ 平成21年12月14日(月)～18日(金)
- ・ 実証実験時間
 - ✓ 午前7時30分～午後6時頃(特に朝夕のラッシュ時)
- ・ 実証実験場所
 - ✓ 飯塚市内(国道201号周辺)
- ・ 実験項目
 - ✓ 実験1.渋滞情報+燃費最適ルートナビ
 - ✓ 実験2.アイドリングストップ
 - ✓ 実験3.満空情報システム
 - ✓ 実験4.画像処理による路駐車両検出

実証内容

燃費最適ルート検索
最適ルート検索によるCO2削減のための運転支援

乗客平均化システム
満員・空車情報の提供による旅客平均化、燃費向上

路駐車情報提供システム
路駐車情報による交通流平滑化

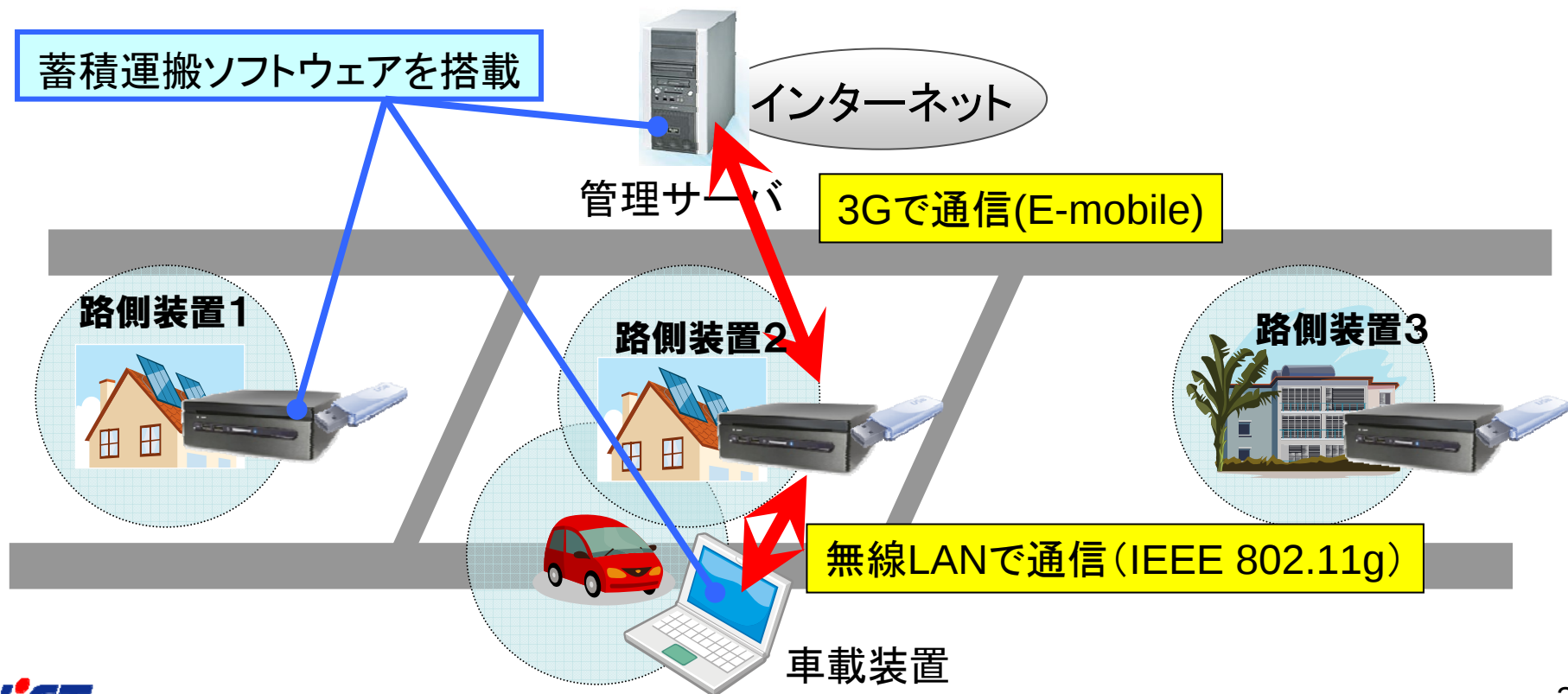


アイドリングストップ支援
渋滞情報、信号情報を用いたアイドリングストップ支援

渋滞緩和支援
渋滞情報に基づく迂回路誘導による渋滞緩和

実験概要: 車車間・路車間通信網の構築

- 下記の3つを用いて、車車間・路車間通信網を構築した。
 - 市街を走行するバスや一般車両が搭載する「**車載装置**」
 - 路側に分散配置した「**路側装置**」
 - 九州工業大学に設置した「**管理サーバ**」



実験概要：車車間・路車間通信網の構築(2)

■ 路側装置

- 路線バスの走行経路に従って、地理的に分散配置する事で、遅延の抑制，到達可能性の向上を実現する.
- 実験時は下図のように，軒先・室内・屋外に路側装置を設置.

竜王ガス屋上

竜王ガス屋上

軒先に設置

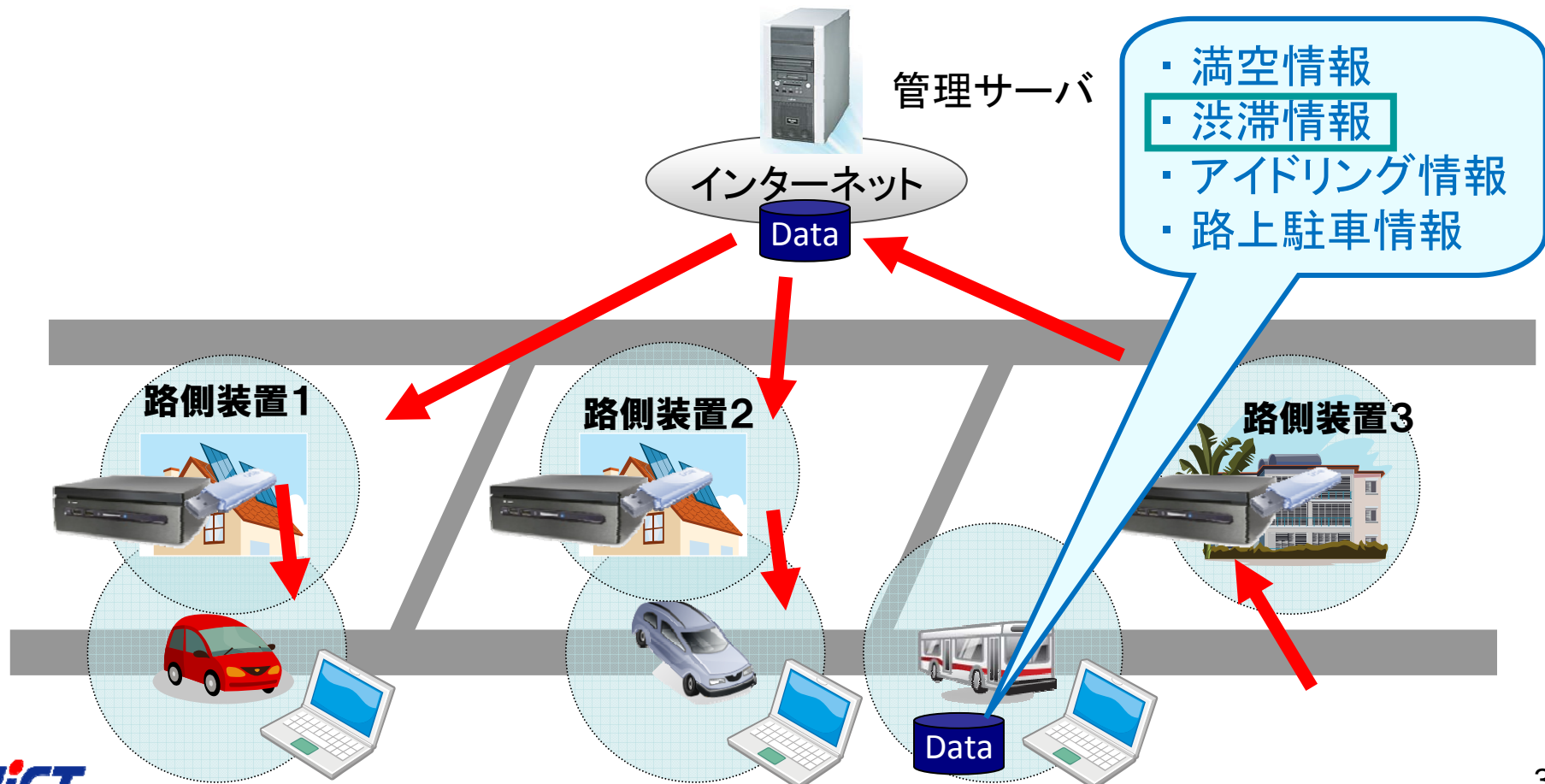
室内に設置

屋外に設置

実験概要:車車間・路車間通信網の構築(3)

■ 路車間通信 (路側装置⇔路側装置管理載装置)

- バスや一般車両は、路側装置を経由して管理サーバからデータを転送信.
- 路側装置を通過する車を蓄積し、データを管理サーバが通過時に行き、通過時転送.

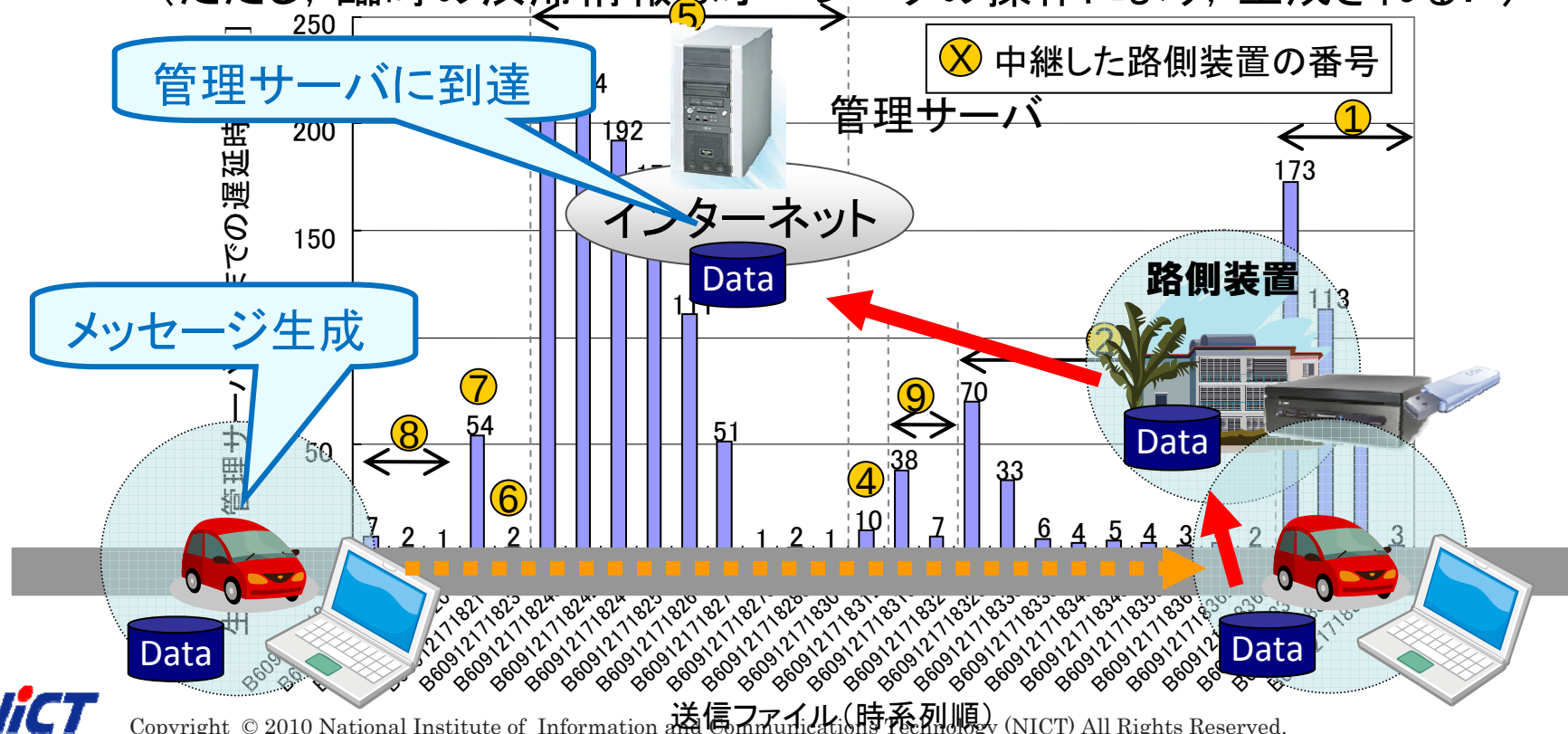


渋滞情報の伝達遅延時間の分析

- 渋滞情報シナリオにおいてメッセージ生成から管理サーバに到達するまでの伝達遅延時間を分析する。

- メッセージの大きさ: 194 バイト
- メッセージの生成頻度: 毎分1メッセージ

(ただし, 臨時の渋滞情報はオペレータの操作により, 生成される.)



ここまでのまとめ

■ 有線無線融合インターネットに向けて

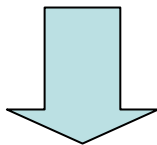
- WiMAXをはじめ、無線通信技術の進展
- しかしみんながいつでも使うためには無駄使いはできない
- 様々な無線網や有線網を効果的に組み合わせることが必要

■ DTN技術の有用性

- 多様な異種ネットワークを組み合わせ、時間的・空間的な不連続性を低コストで克服する
- ただし非実時間通信がメインの対象
- 当研究チームの2つの技術研究・実験の紹介
 - 1. 複数ネットワーク統合データ転送方式**
 - 2. 蓄積運搬型データ転送を利用する仮想ネットワークアクセスインフラ**
- 無線資源の有効利用の観点からコグニティブ無線の研究とも関連していくだろう

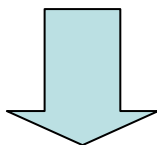
最後に... 新世代ネットワークとDTN

特殊な環境における通信のための技術
ZebraNet, IPN, etc...



現在

一般的なネットワーク(劣通信環境)への適用による
アプリケーション適用領域の拡大
山間部, 災害時など条件不利環境での大容量アプリケーション



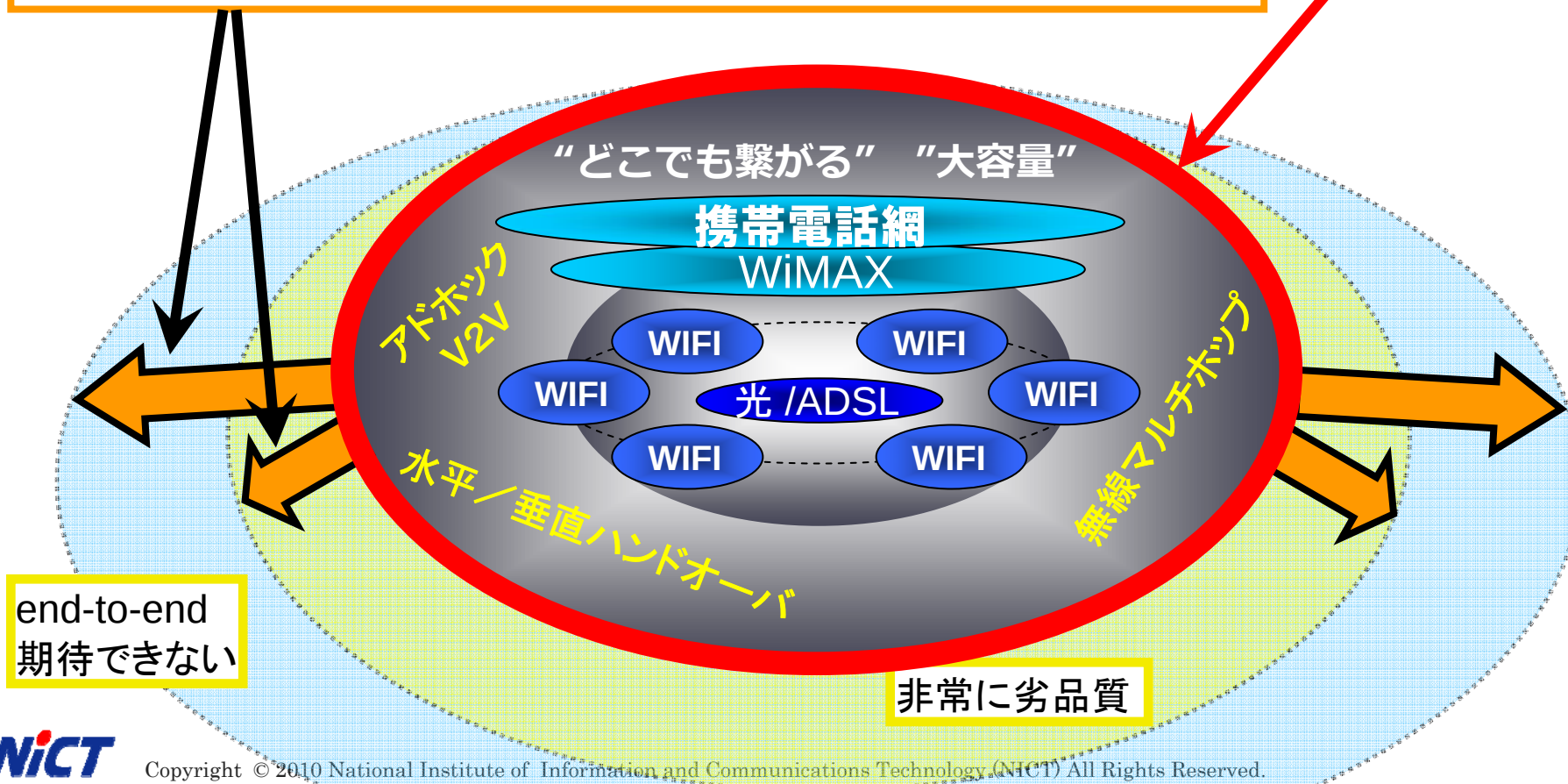
次

一般的なネットワーク(劣通信環境に限らない)への適用

最後に... 新世代ネットワークとDTN

一般的なネットワーク(劣通信環境に限らない)への適用

一般的なネットワーク(劣通信環境)への適用による
アプリケーション適用領域の拡大



最後に．．．新世代ネットワークとDTN

- 普通のネットワーク（劣通信環境に限らない）での活用を目指す
 - 非リアルタイム、非同期を許すアプリケーション
 - 多様なネットワークの利用を考えるうえで、何もかも即時通信する（ことを前提とする）現状がベストなのか？
 - 新世代ネットワークにおいて非リアルタイム通信をどれくらい本気でサポートするべきか？
 - 例えば無線ネットワークでは、周波数資源は有限であり、全てのユーザに即時性・帯域を 100%の品質で提供することはできない。効率的に使う方法を考えていくべき。
 - → その解の1つが、「待つ、貯める」
 - 持続的な発展が可能なネットワークを目指す
 - 今後現れるであろう、多種多様なネットワークを使えるように
 - どれだけ高速大容量なインフラを持たせても、理屈上は、これで十分ということは（きっと）無い
- 「新世代ネットワーク」が DTN に期待することは？
 - どんなネットワークでもあらゆるアプリケーションが魔法のように実現される技術ではない
 - DTNにできること・DTNへの期待の差分を整理し、その差分を研究課題としてつぶして行く、あるいは、新世代ネットワークアーキテクチャへの要求提言としたい。

ご清聴ありがとうございました

