

インターネットインフラ特論

1. インターネットの原理

太田昌孝

mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp

<ftp://chacha.hpcl.titech.ac.jp/infra1.ppt>

講義の構成

- 前期
 - インターネットインフラ特論
 - 物理層、データリンク層、ネットワーク層
- 後期予定
 - インターネット応用特論
 - トランスポート層、アプリケーション層

通年の講義の目的

- インターネットの原理、インターネット流の
プロトコル設計の「こつ」を理解する
 - エンドツーエンド原理(RFC1958)
 - グローバルコネクティビティ原理
 - スケーラビリティ原理
- 今後はプロトコルの時代
 - 多様なアプリケーションに応じたプロトコル
 - APIは二の次

講義の参考となる資料

- RFC(一部和訳もあり)
- 「本当のインターネットをめざして」、情報処理学会誌、全36回(1999年4月号～2002年3月号)
- 「インターネットの真実」、週間東洋経済(2001年1月より2002年4月まで連載)
- 昨年度の講義のOHP
 - ftp://chacha.hpcl.titech.ac.jp/2017/infra*.ppt

前期の構成(1)

- 1. インターネットの原理: エンドツーエンド原理、CATENETモデル
- 2. 物理層: アクセス網、幹線網、光ファイバー、ADSL、電波
- 3. データリンク層: イーサネット、ATM、PPP、IOG
- 4. インターネットワーク層: IPv4、ARP

前期の構成(2)

- 5. インターネットワーキング層:IPv6、ND
- 6. インターネットワーキング層:IPセキュリティ
- 7. インターネットワーキング層:NAT、DHCPとAUTOCONF
- 8. ルーティング:IGP、ポリシー、IX、マルチホーミング、モビリティ

前期の構成(3)

- 9. ルーティング:トラフィックエンジニアリング、ROLC、MPLS
- 10. ルーティング:マルチキャスト、経路表の縮約の不可能性
- 11. 帯域・遅延保証:Guaranteed Service、DiffServe
- 12. 超高速ルータ、光ルーティング
- 13~? おまけ?

評価方法

- 中間レポートと、期末レポート
- 出席はとらないが、、、
- 質問やコメントを義務付ける
 - 期中、講義に関する技術的な内容の質問やコメントを最低2回、授業中に行うこと
 - よい質問やコメントは、成績の加点対象
 - 質問者は、講義終了後に名前と学籍番号を申告のこと

プロトコルとは？

- ネットワークで通信する手順

ところで、インターネットとは？

- 電子メールのことではない
 - 20年前には大真面目で主張されていた
- ウェブのことでもない
 - 現在は勘違いしている人が多い
- アプリケーションのことではない
- インターネットはIP（インターネットプロトコル）を用いて、インターネットの原理に基づいて、端末間が直接接続された網である

エンドツーエンド原理

網の中抜き原理

- 端末(エンド)でできることは網側ではやらない
 - 網機器は単能(端末を結ぶだけ)、高速
- 直接関係する端末でできることは他の端末ではやらない
 - スケーラブル(負荷が集中しない)
 - 高信頼(端末が動いてなんらかの経路で通信さえできればシステムは動作)

インターネットじゃないもの(1)

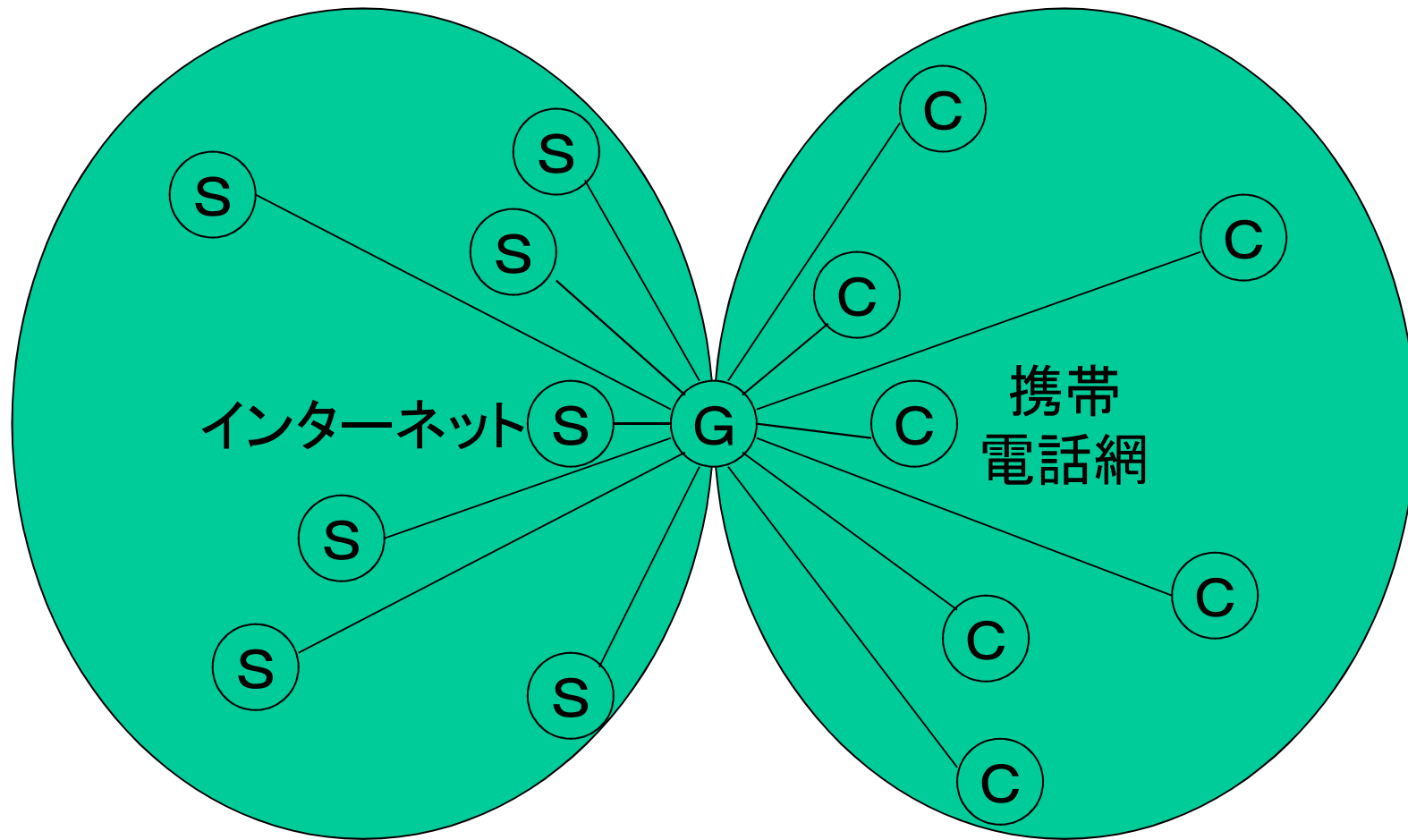
電子メール

- UUNET(JUNET)はインターネットではなかった
- パソコン通信もインターネットではなかった
- 電子メールはインターネット上でも動くアプリケーションの一種
 - その他のネットワーク(電話網)上でも動く
- 昔の(海外)電子メールは有料だった
 - 今でも携帯電話網上の電子メールは一部有料

インターネットじゃないもの(2)

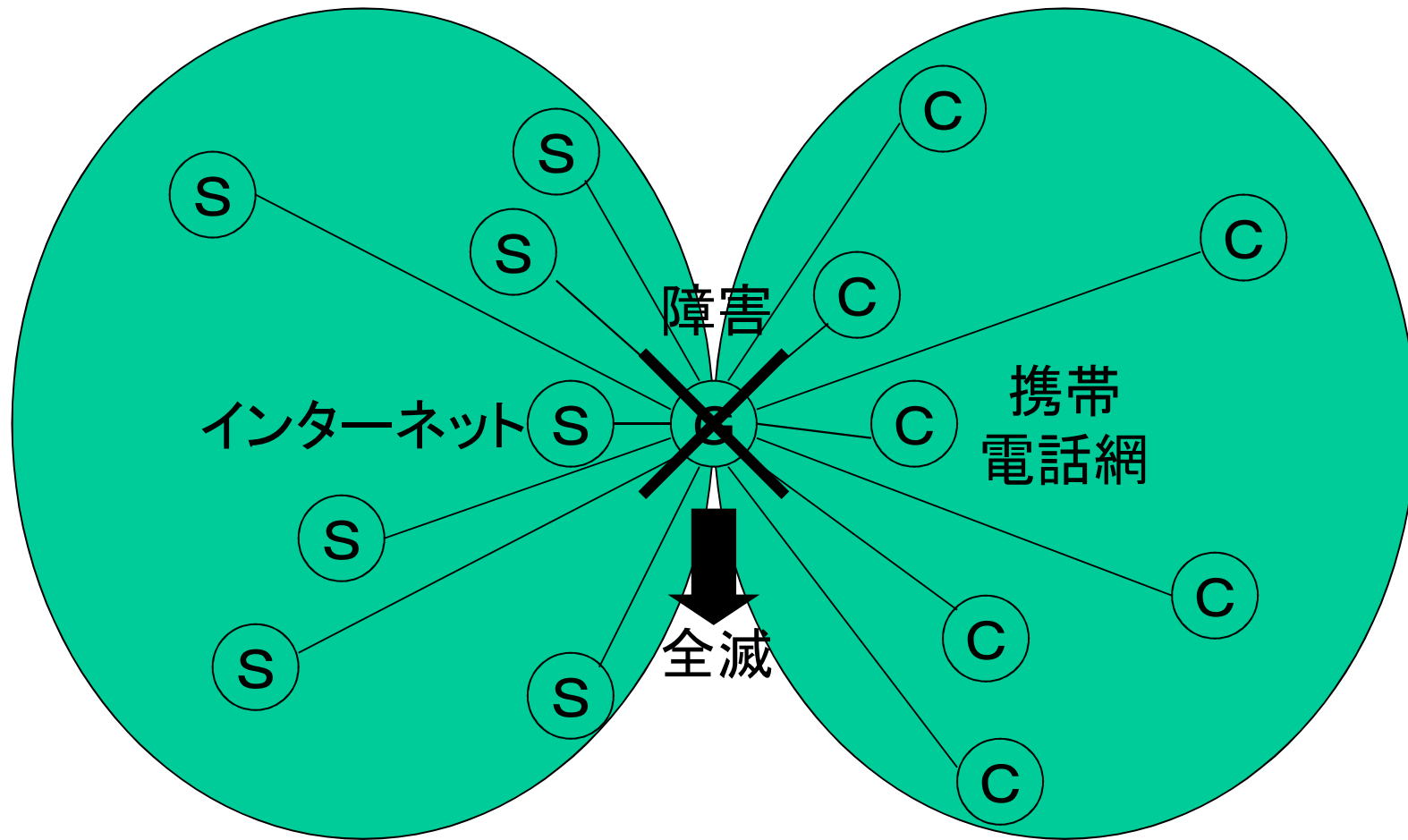
ウェブ

- ウェブはインターネットではない
 - マイクロソフトはそのへんを誤魔化しているが
- ウェブもインターネット上でも動くアプリケーションの一種
 - その他のネットワーク上でも動く
 - 携帯電話網からウェブを見るのは本来有料
 - もちろん、携帯電話網はインターネットではない



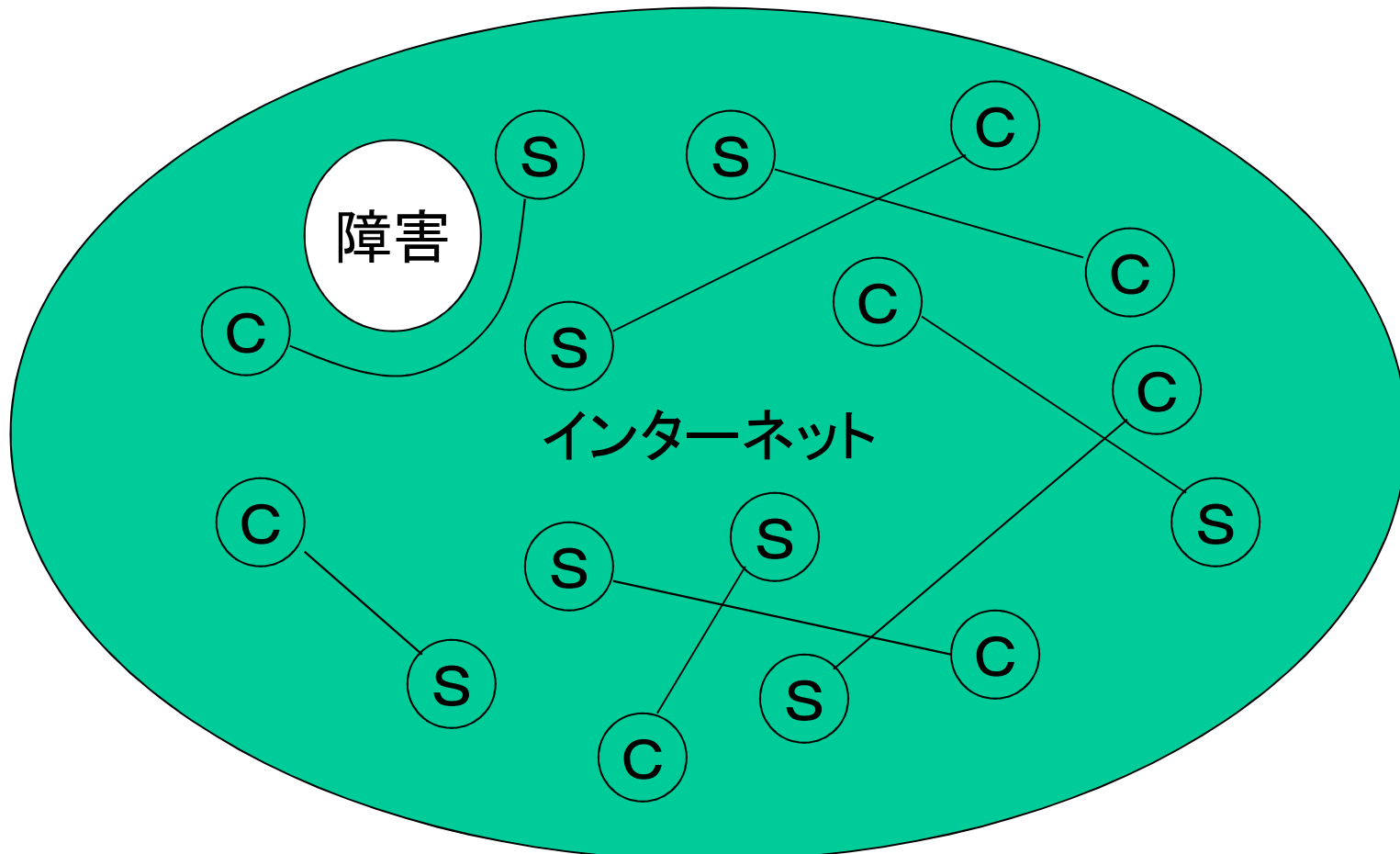
●S:サーバ ●C:クライアント ●G:ゲートウェイ

携帯電話網からのウェブの利用
サーバとクライアントが分離されゲートウェイ経由で通信



●S:サーバ ●C:クライアント ●G:ゲートウェイ

携帯電話網からのウェブの利用
サーバとクライアントが分離されゲートウェイ経由で通信



S:サーバ **C**:クライアント

インターネット

サーバとクライアントが混在して最短経路で通信

インターネットじゃないもの(3)

電話

- 電話は電話網ではない
- 電話は電話網上でも動くアプリケーション
 - その他のネットワーク上でも動く
 - インターネット電話自体は無料
- もはや電話はインターネットの販促ツール
 - わざわざ電話網をサポートする価値なし
 - 携帯電話はモバイルインターネットの販促ツール

インターネットじゃないもの(4)

電話網

- 電話は電話網ではない
- 電話は電話網上でも動くアプリケーション
 - その他のネットワーク上でも動く
 - インターネット電話自体は無料
- もはや電話網は不要
 - 携帯電話網も同じ
 - 電話番号も不要
 - IPアドレスが基本(内線番号があってもいい)

ネットワーク

- 物流網
 - 郵便、宅配便、コンビニ
- 情報通信網
 - 出版網（書籍、新聞、レコード（CD）、映画）
 - 金融網
 - 電話網
 - 放送網
 - インターネット

インターネットは情報通信網を 中抜きする

- インターネットは情報通信の価格破壊
 - 出版網、金融網、電話網、放送網は消える
 - 社会の情報通信コストの削減
 - ISPビジネス自体は儲からない
- 出版、金融、電話、放送というサービスは
 - インターネット上に移行して残る
 - 社会の活力は増大する

出版網

- 同じ情報を大量に配布
- 情報流通は遅くていい
- 著作権法による保護
- いまのインターネットの好餌
 - 壊滅寸前

金融網

- お金のやりとりを管理
- 物流網でもあるが、今や、情報通信網としての面がはるかに大きい
- セキュリティー！！！！
 - 事故を起こさないことではない
 - 事故の時、誰が損失をかぶるか

電話網

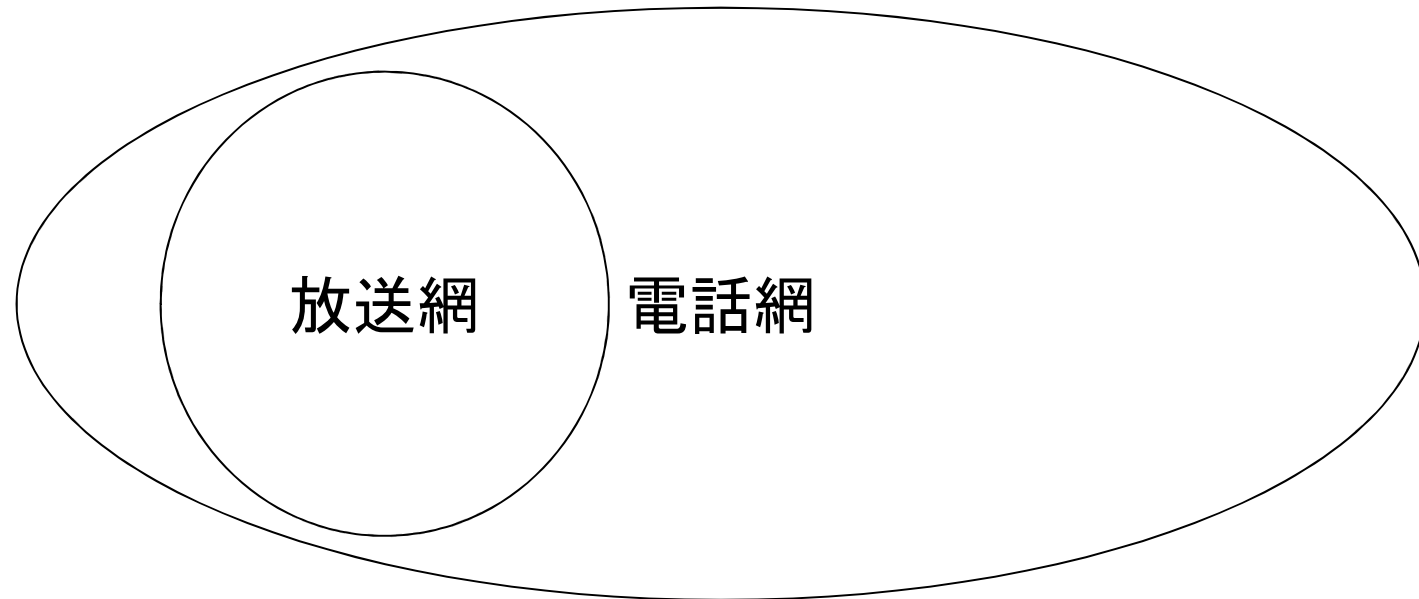
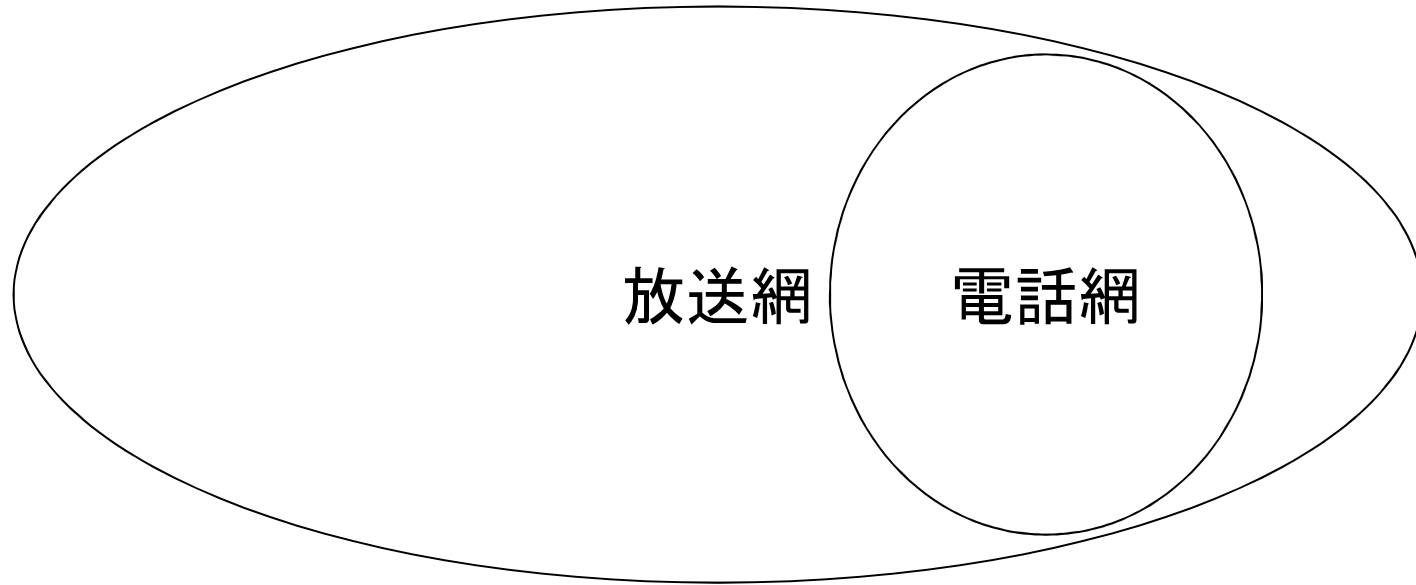
- 音声を実時間で伝送する網
 - 音声伝送の帯域を確保
 - 音声伝送の遅延を最小化(保証)
- 専用線事業も
 - あくまで音声伝送事業が主
- 遅くて高い
- 電電公社として保護、電気通信事業法で開放

放送網

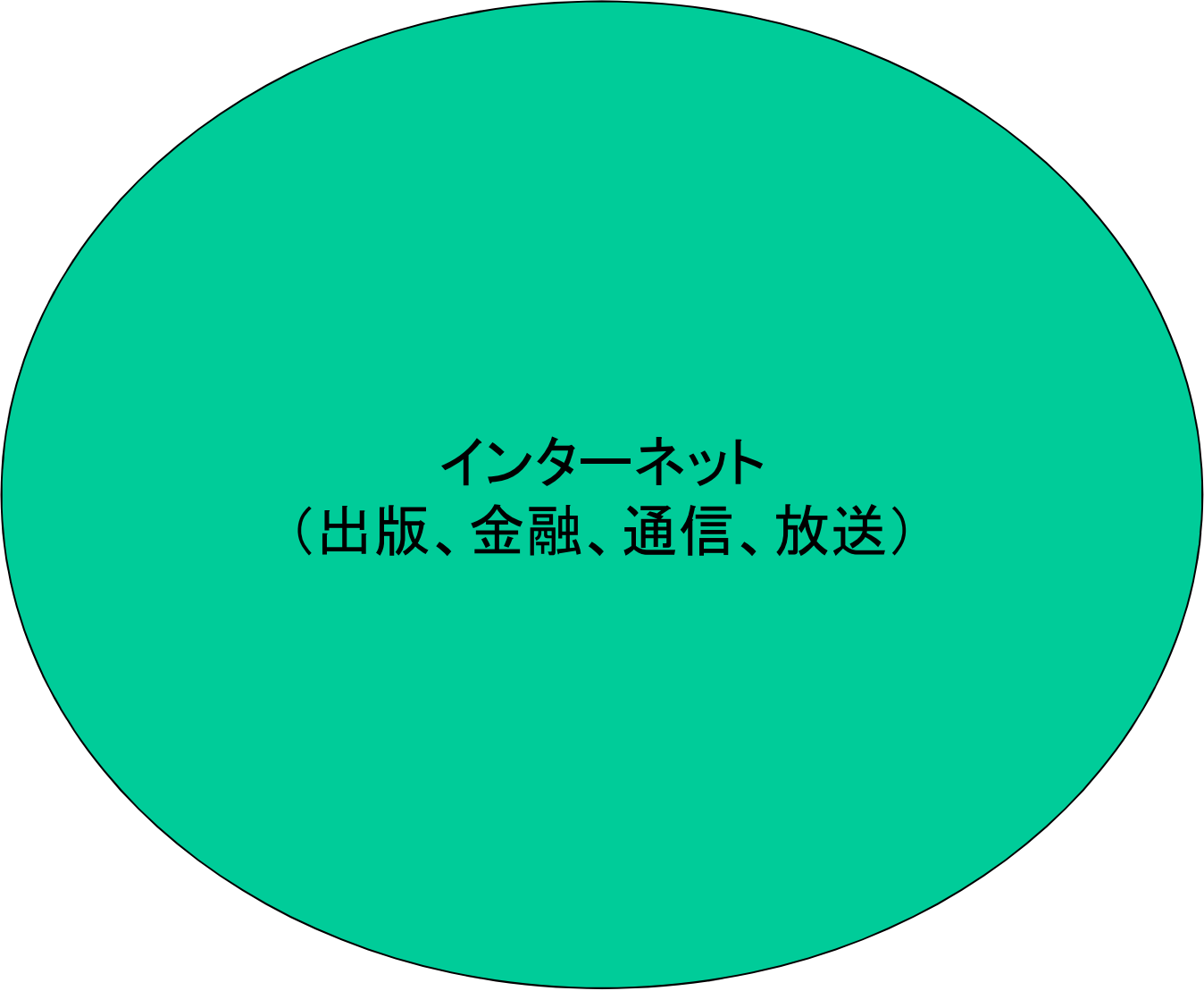
- 音声、画像を実時間で多数に伝送する網
 - 伝送帯域を確保
 - 遅延を最小化
- 電波による広域一対多通信
 - ブロードキャスト／マルチキャスト
- 放送法による保護

放送と通信の融合

- 電話網からみて
 - 電話網でも一対多通信は可能
 - 電話網(BISDN)への放送網の統合
- 放送網からみて
 - 放送のフィードバックを電話網から受ける
 - 電波でも1対1通信は可能
 - 放送網への電話網の統合？
- インターネットからみて
 - ぜんぶインターネットに統合



同床異夢の「放送と通信の融合」



インターネット
(出版、金融、通信、放送)

インターネットによる情報通信サービスの統合

プロトコルのレイヤリング

- 扱う対象の抽象度に応じて層化
 - OSIの7層モデル
 - インターネットの5層モデル
- プログラムでいえば、サブルーチン化（構造化）に相当

アプリケーション層	7層
プレゼンテーション層	6層
セッション層	5層
トランスポート層	4層
ネットワーク層	3層
データリンク層	2層
物理層	1層

OSIのレイヤリング構造



インターネットのレイヤリング構造

物理層

- 物理現象と情報を対応させる
 - 電圧 $\langle - \rangle 0, 1$
 - 光のあるなし $\langle - \rangle 0, 1$
 - 振幅と位相 $\langle - \rangle 0, \dots, 63$
- 複数の同質の物理層の統合も可能(リピーター)
- プログラミングでいえば、機器制御のファームウェア

データリンク層

- ネットワーク層と物理層のつなぎ
- 物理層が3個以上の機器からなる場合
 - 相互の区別が必要
- 複数の異質な物理層の統合も可能
 - 局所的な中継(ブリッジ)
- プログラミングでいえば、デバイスドライバ

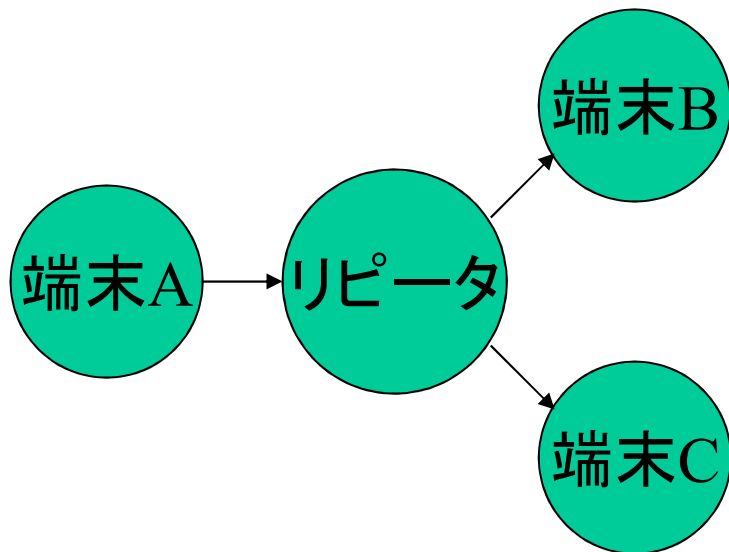
ネットワーク層

インターネットワーキング層

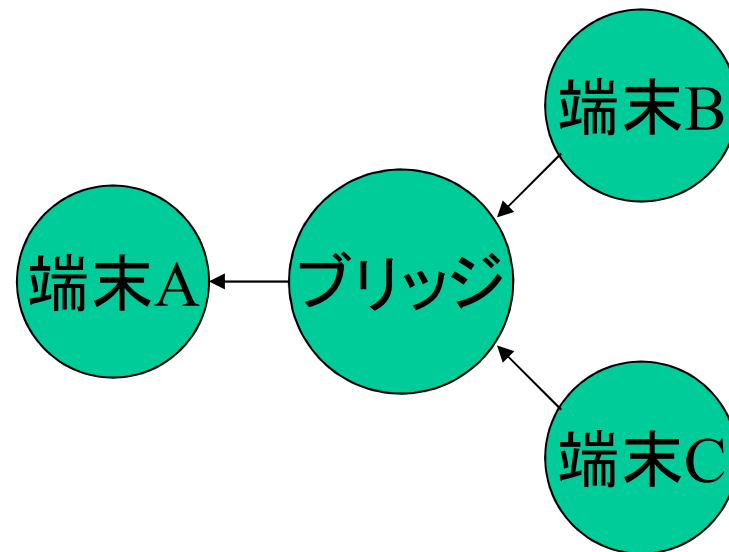
- 多数のデータリンク層を統合して大域的なひとつの網として動作させる
- 大域的な中継（ルータ、ゲートウェイ）
- プログラミングでいえば、ファイル管理やプロセス間通信

「統合」をどこでやる？

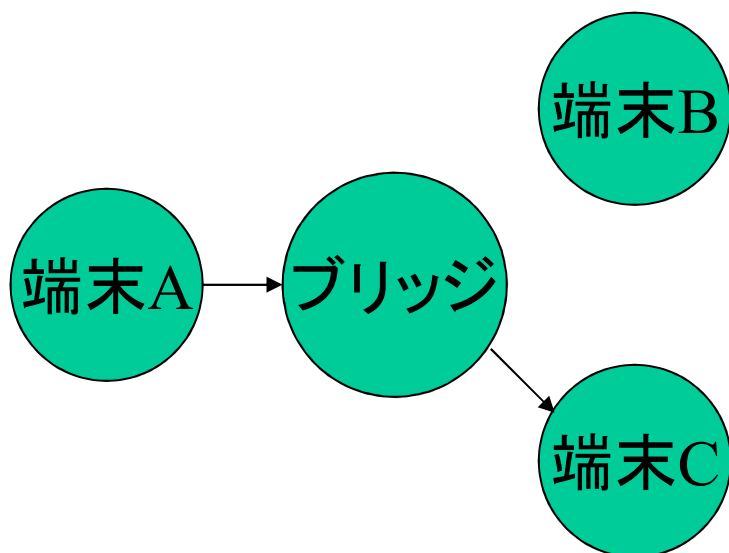
- どの層でやってもいい
 - だからといってあちこちでやるのは無駄
- どこかの層だけに任せるのがきれい
 - インターネットワーキング層では統合は必然
 - データリンク層でやる必要はない
 - データリンク層の単純化
 - 物理層でやると帯域の無駄
 - 多くの端末が一つの物理現象を共有



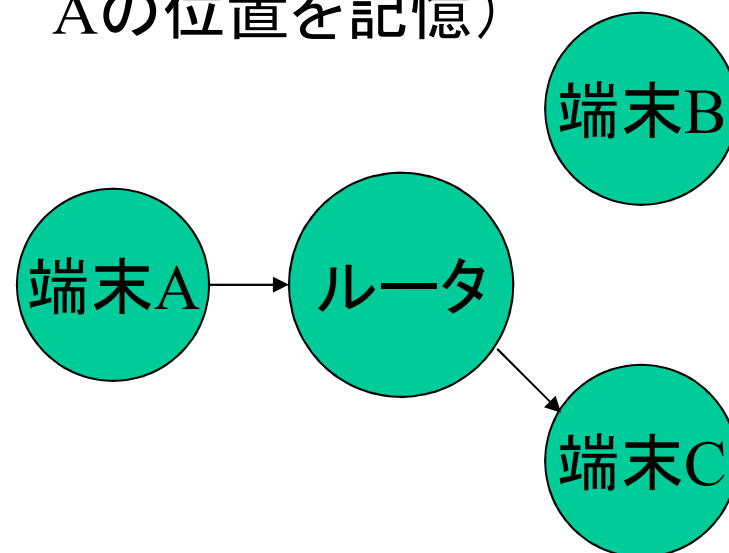
(a) 1層での統合



(b) 2層での統合 (最初、
Aの位置を記憶)



(c) 2層での統合 (Cの位置を記憶後)

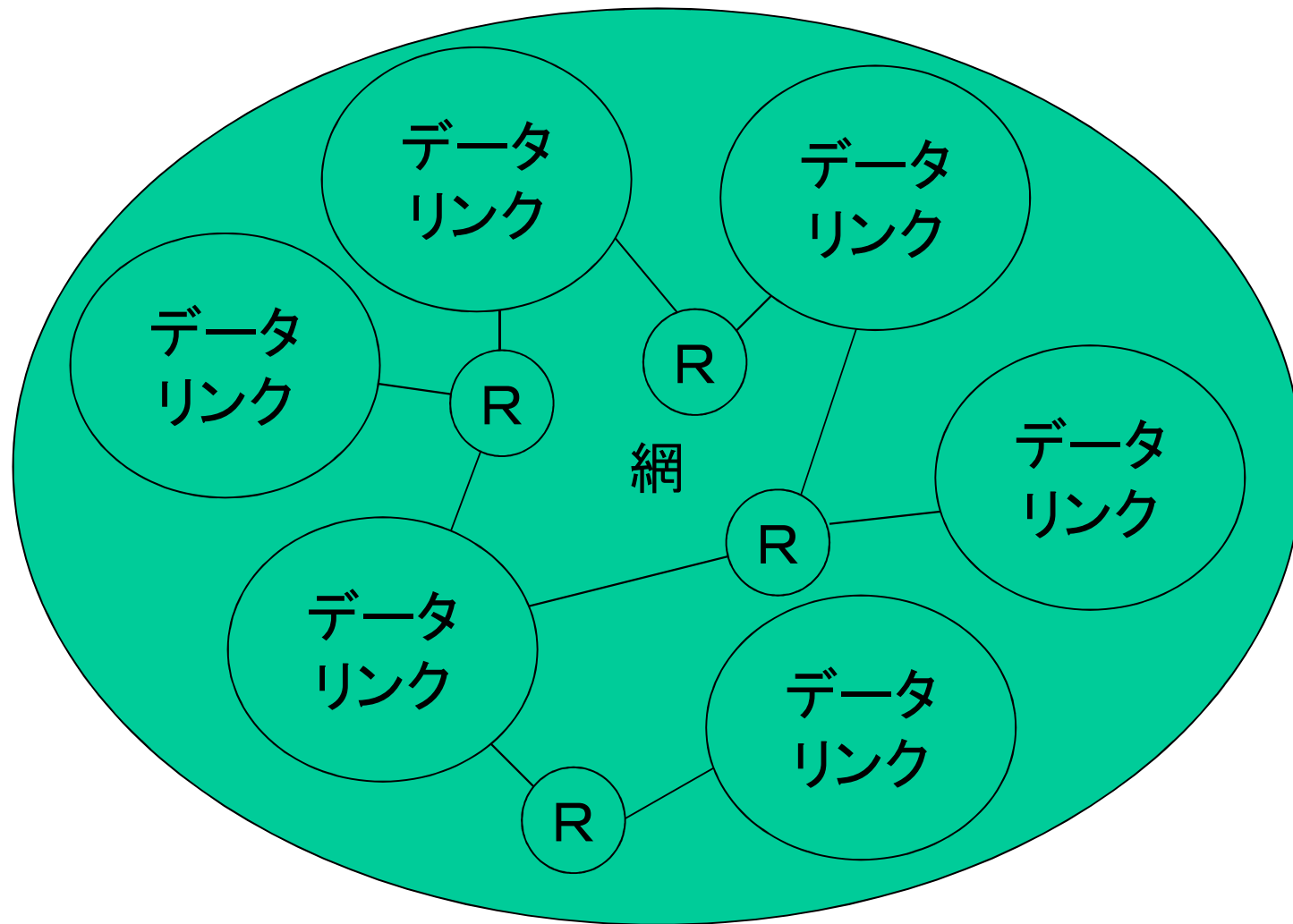


(d) 3層での統合

層ごとの中継機器の振る舞い (AからCへのパケット)

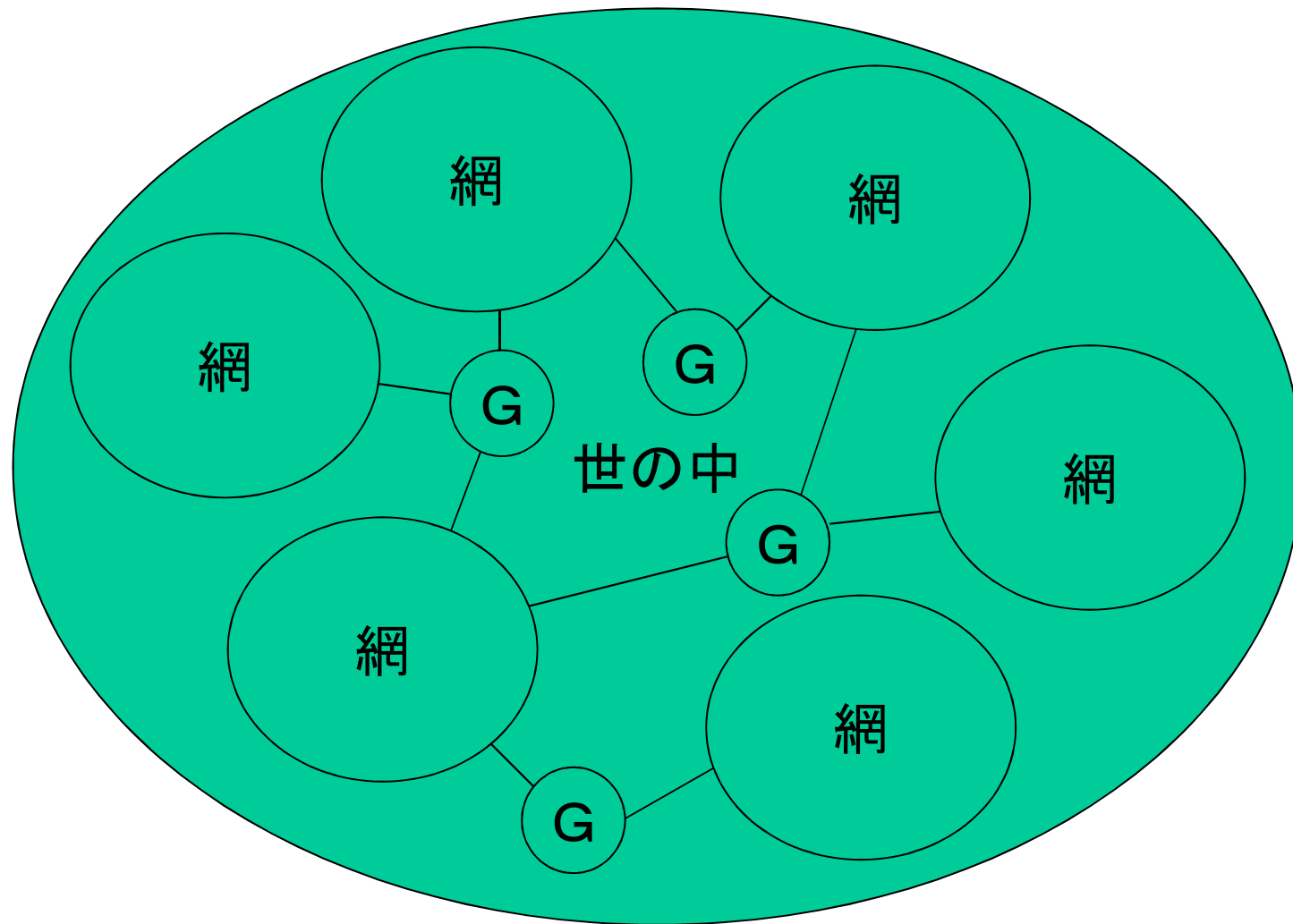
網間接続

- 網どうしの「統合」
 - ネットワーク層以上の層での統合
- 矛盾！
- エンドツーエンド原理とは端末の直接通信
 - インターネットでは網間接続はありえない
 - 1つの網(インターネット)だけで全体を覆う
 - グローバルコネクティビティ原理
 - 網間接続の仕様をあれこれ考えるより楽



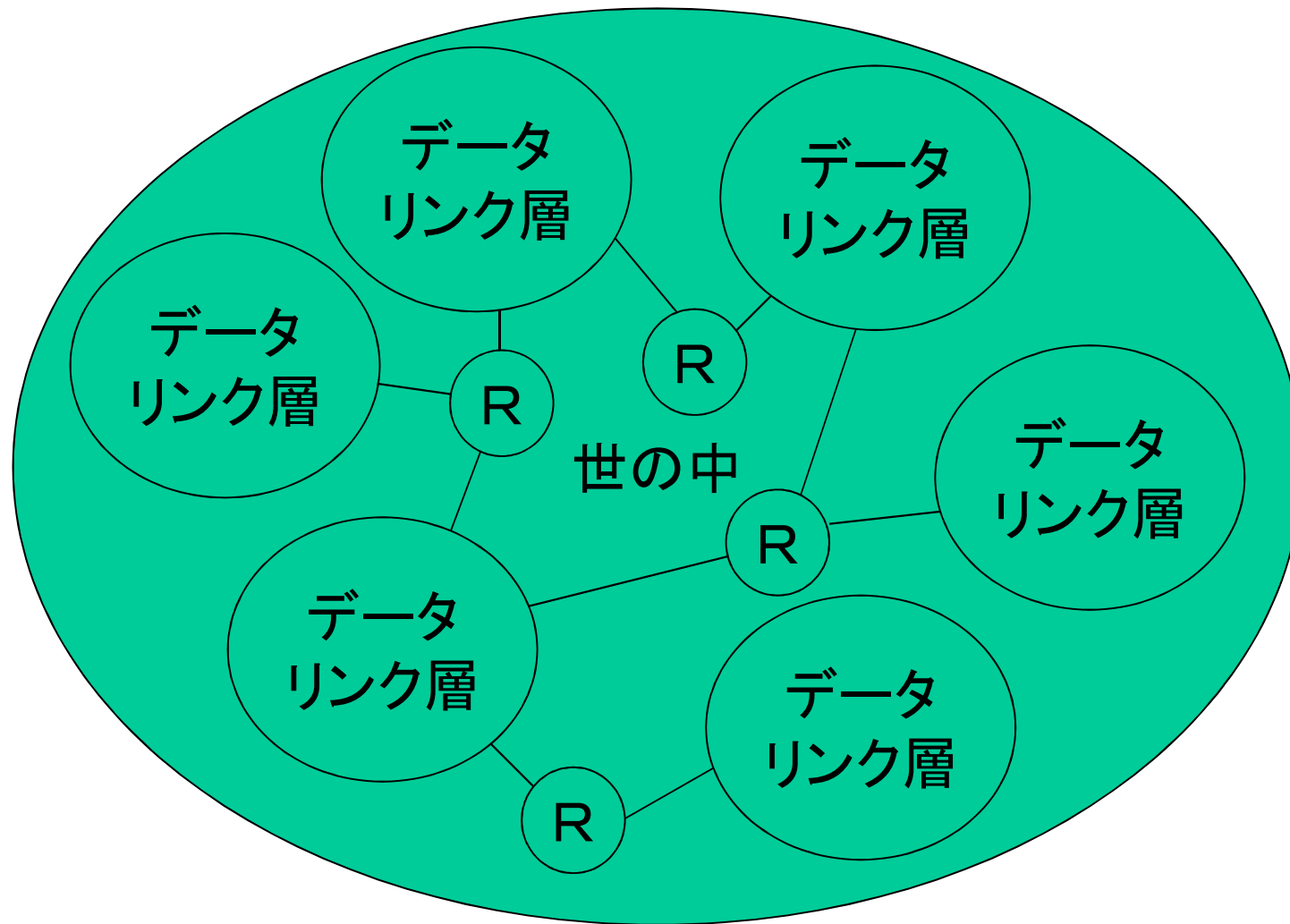
● R : ルータ

ネットワークとデータリンク



 : 網間接続装置

世の中とネットワーク層



● R : ルータ

世の中とインターネット

トランスポート層

- ネットワーク層では個々の端末を識別
- トランスポート層では個々の通信を識別
 - 同一端末間に複数の通信がありえる
 - 別の通信は別のプロセスで処理
 - ネットワーク中ではそれらの要求する帯域などが異なるかも、、、
 - ベストエフォートインターネットではどうでもいい
- プログラムでいえば、プロセス管理

セッション層、プレゼンテーション層、アプリケーション層

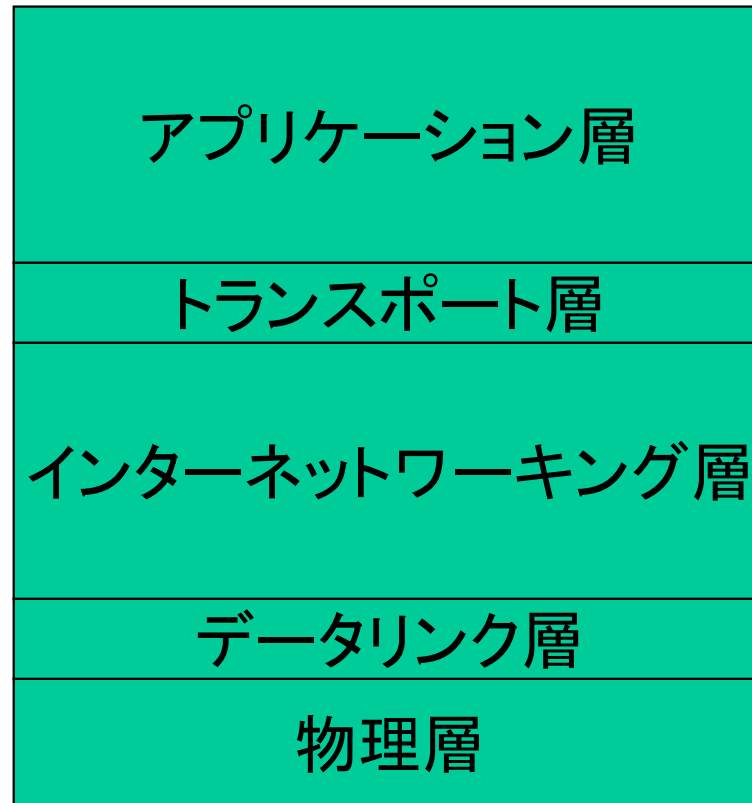
- プログラミングでいえば、個々のプロセス内部の構造に相当
- ネットワークでいっても、端末内の個々のプロセス内部の構造に相当
- 網間接続がなければ、区別に意味なし
 - インターネットではアプリケーション層のみ

トランスポート層とアプリケーション層

- ベストエフォートでは、端末内部の区別でしかない
- 個別通信の個別プロセスへの振り分けだけはトランスポート層
- それ以上の区別には意味がない
 - 多くのアプリケーションで共通に使うプロトコル（TCP（信頼性確保と帯域管理のプロトコル）等）は慣例的にトランスポート層に分類

インターネットのレイヤリング

- 物理層、アプリケーション層は必須
- インターネットワーキング層はできる限りのことをやる
- データリンク層、トランスポート層は極力なにもやらない

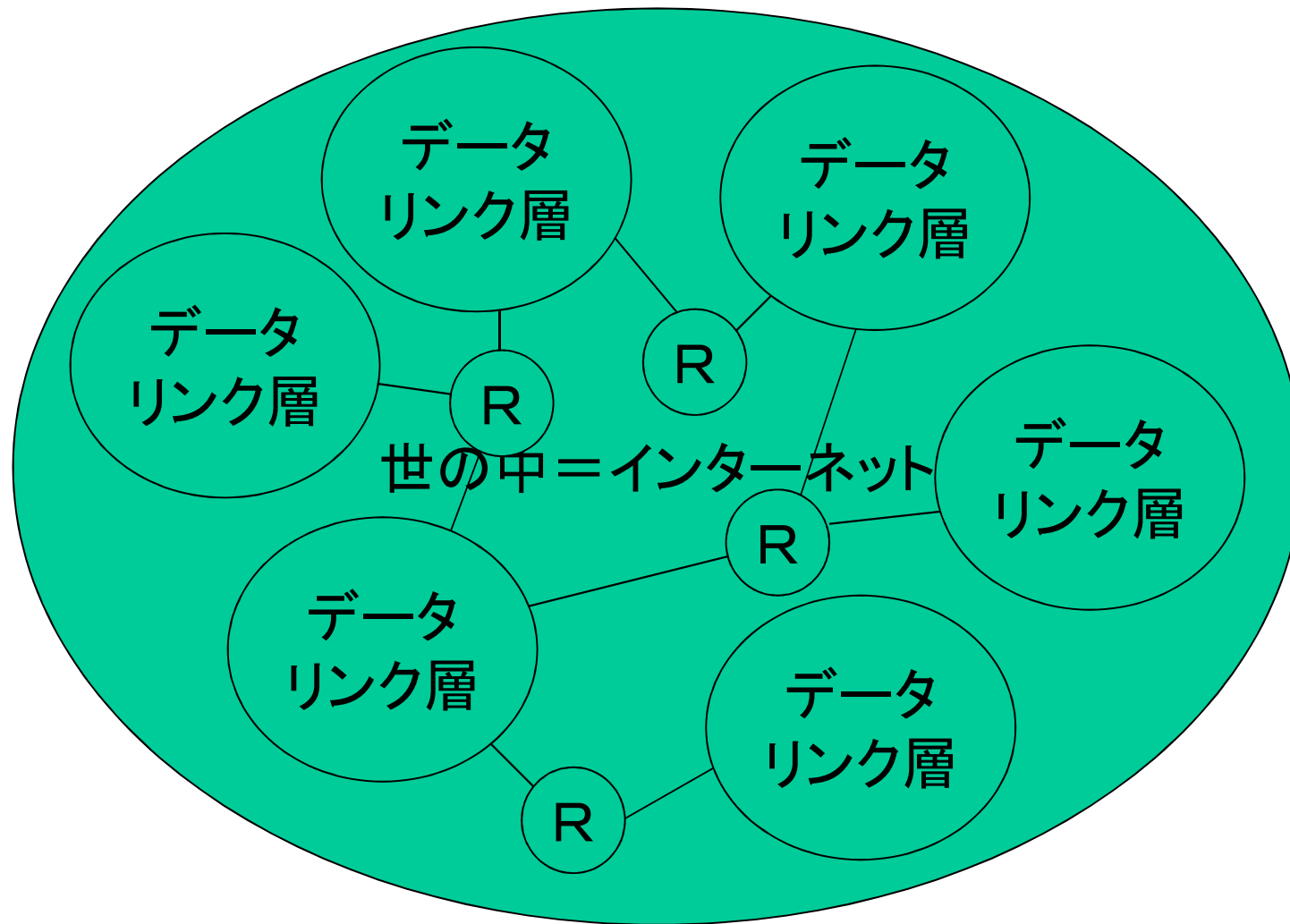


ここぞインターネット

インターネットのレイヤリング構造

インターネットの構造

- CATENETモデル
 - 多数の小さな(機器の数が少ない)データリンク層をIP(Internet Protocol)ルータで相互接続したもの

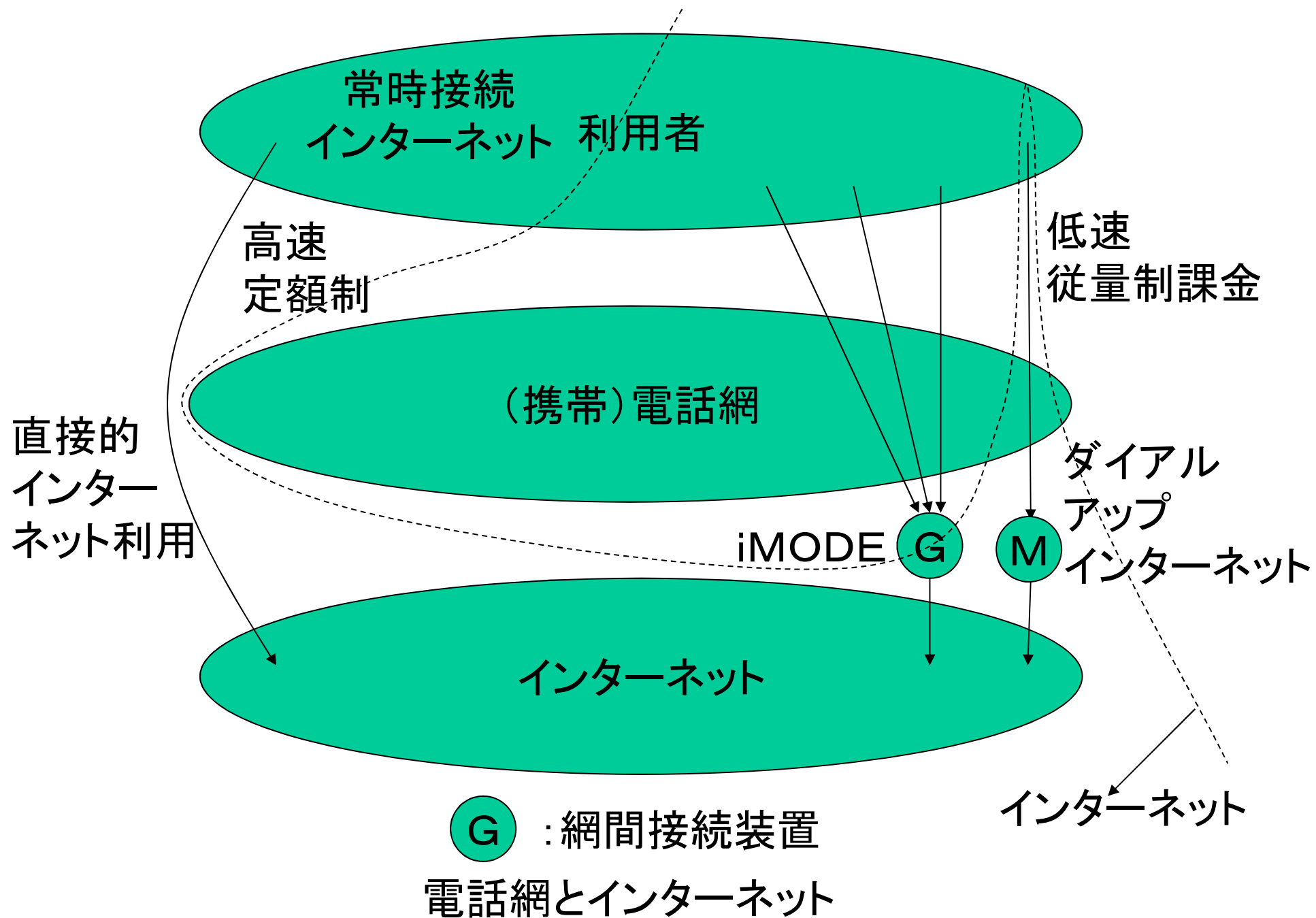


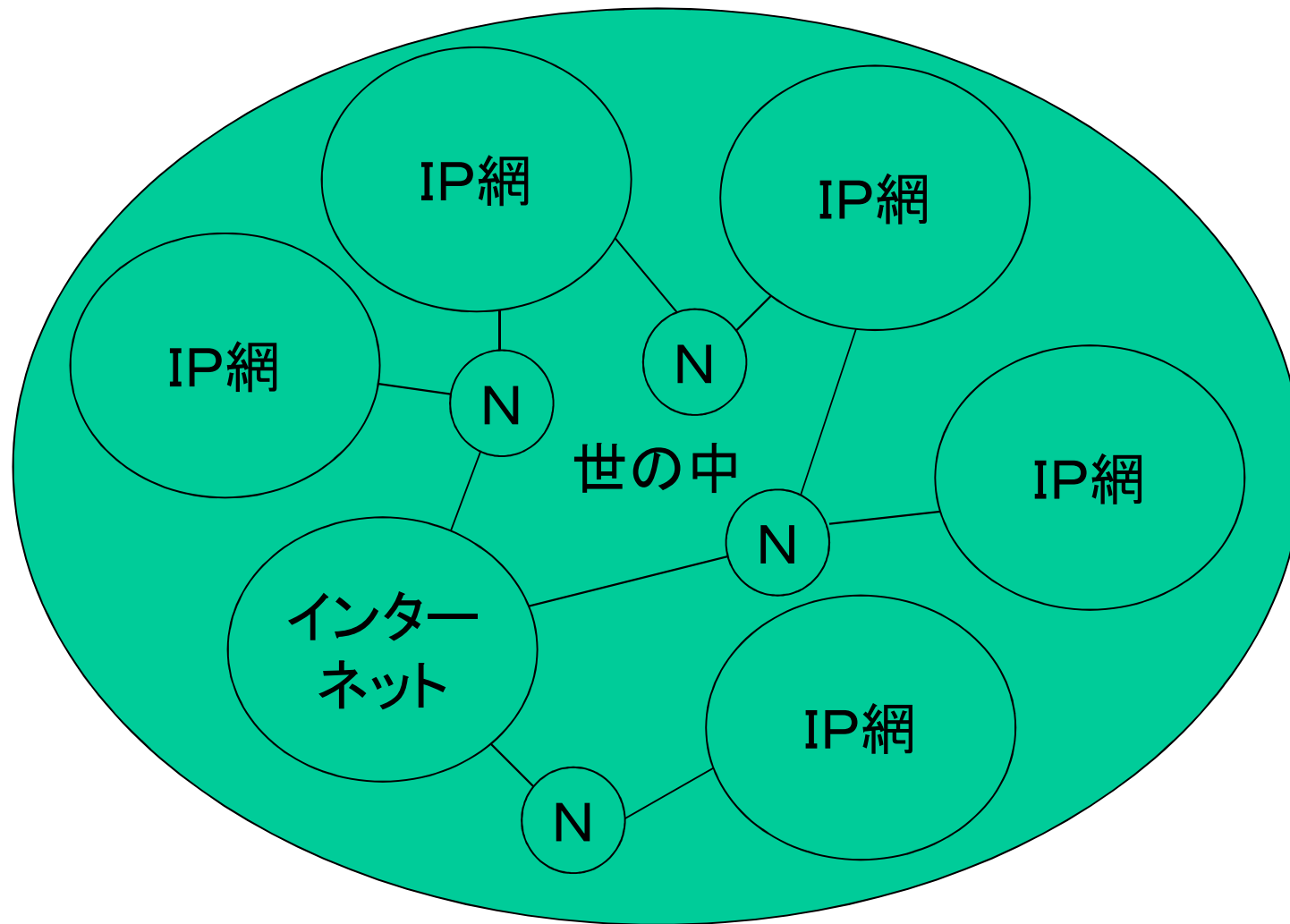
R : ルータ

CATENETモデル

インターネットと網の構造

- インターネットの例
 - ダイヤルアップインターネット
- インターネットでない例
 - iモード
 - IPだが、トランスポート層も中継
 - 従来のNAT
 - IPだが、アドレス等を書換え端末には隠蔽
 - 隠蔽の為の書換えで、トランスポート層以上で網間接続



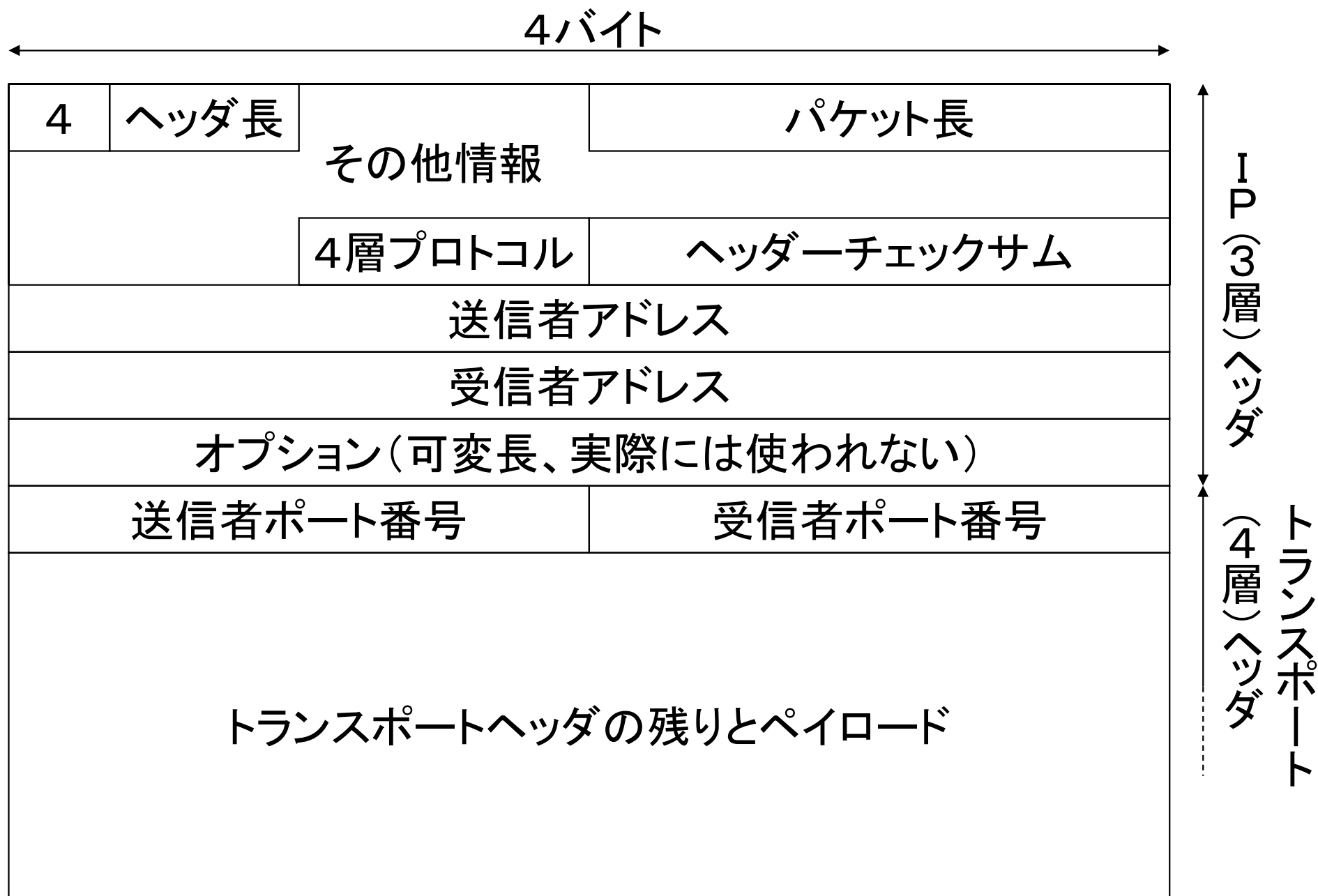


 : NAT装置

NATとインターネット

インターネットのデータ形式

- データをパケットにまとめて転送
- パケットは個別に行き先をもつ
- IPv4では、20バイトのインターネットワーキング層ヘッダを付加
- トランスポート層ヘッダも付加される



IPv4パケットフォーマット

オプションIPヘッダを使わない (が使えない)わけ

- ルータで処理が必要なオプション
 - ルータの処理が複雑になる
 - ルータが遅くなる
 - ルータが落ちる
 - そもそも、ルータで処理が必要か？
 - エンドツーエンド原理によりオプションは有害無益
- ルータで処理が不要なオプション
 - トランスポート層以上のオプション

今回のまとめ

- エンドツーエンド原理はインターネットの基本原理
- 網間接続はエンドツーエンド原理違反
 - グローバルコネクティビティ原理の導出
 - 7層モデルは無意味
- オプションIPヘッダはエンドツーエンド原理違反