

# 情報通信方式の科学的特徴を発見的に理解する 情報科の授業の開発

神奈川県立生田東高校情報科

大石智広

専修大学ネットワーク情報学部

望月 俊男



# 授業開発の背景

問題意識

情報の科学的理解を  
どのように探究的に教えるか

# 問題意識

- 情報 I
  - 情報の科学的理解の重視
  - 科学的理解（見えないメカニズムの概念的理解）
  - 問題解決志向
- 情報の科学理解をどのように探究的に教えるか
  - 生徒主体
  - 深い学び

アプローチ

「探究」にも  
いろいろな型がある。

# 4つの探究

- 確認としての探究 (Confirmation Inquiry)
  - 問い・手順・結論
- 構成された探究 (Structured Inquiry)
  - 問い・手順
- ガイドされた探究 (Guided Inquiry)
  - 問い
- オープンな探究 (Open Inquiry)

Cook Book  
Science

より学術的な  
営み

Bell, R., L. Smetana, and I. Binns. 2005. Simplifying inquiry instruction. *The Science Teacher* 72(7): 30–34.

# アプローチと目的

構成された探究

+

科学教育・学習科学における学習環境デザイン原則



生徒主体の科学的理解を目指した探究型授業

# 題材と授業の狙い

- 回線交換方式とパケット交換方式の特徴と違いを発見的に理解する。
  - 実験結果の比較・考察から発見することができる。
- 根拠を述べて、どちらを採用すべきか判断することができる。
  - 科学的な理解に基づいた根拠を、述べることができる。





# 授業の概要

# 利用した探求的な授業デザイン原則

1. ミッションを与える (Schank et al. 1999)
2. モデルベース推論 (Clement 2008)
3. 身体化認知 (Abrahamson et al. 2014)
4. 事例対比 (Bransford & Schwarz 1999)

# ミッションを与える (Schank et al. 1999)

- 目標に沿ったストーリーと状況設定
- 動機付け
  - 解決するに値すると思わせる

# 時は1960年・・・



<http://www.columbia.edu/cu/computinghistory/pdp-1.html>

# 舞台は...



- あなた・・・大統領の科学顧問
- コンピュータのネットワークを造る計画を  
大統領が公約
  - 「アメリカ中のコンピュータを接続して、情報をやり取りしたい」
  - 後のインターネット

# 授業のミッション

## 2つの通信方式の候補

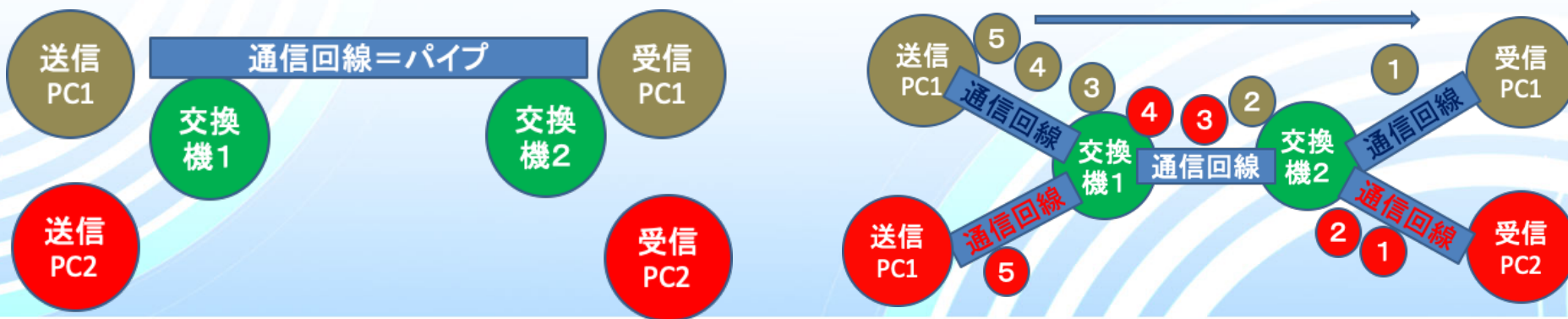
①回線交換方式

②パケット交換方式

どちらが未来の通信方式に  
相応しいかを提案する

# モデルベース推論 (Clement 2008)

- 科学教育の目標は現象の原因を説明できるようになること
- モデルを理解→原因への推論が働く
- パケット交換と回線交換を実物を使ってモデル化





# 身体化認知 (Abrahamson et al. 2014)

- 感覚運動情報の処理 + 概念処理  
→ 高度な概念をより具体的に捉えることができる

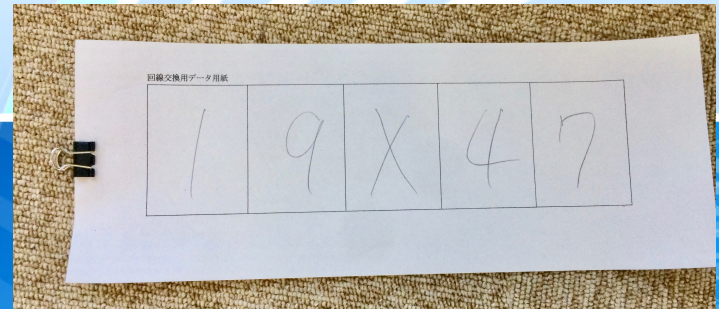
# Meteor: 小惑星の動きを身体的に体験する



Lindgren, R., & Johnson-Glenberg, M. (2013). Emboldened by Embodiment: Six Precepts for Research on Embodied Learning and mixed Reality. *Educational Researcher*, 42(8), 445-452

# 今回の授業で用いた身体化認知

- パケット交換と回線交換による通信を、実物を使って実験
- 身体的な活動を通してそれぞれの特徴の理解を促す



# 事例対比(Contrasting Cases) (Bransford & Schwarz 1999)

- ある概念に関する2つの重複・対立する内容知識を提示
- 特徴的な共通点・相違点に目を向けさせる



回線交換方式が相応しい

パケット交換こそ！



# 事例対比が探求的な学びを生み出す可能性

- 認識と状況が矛盾していると、人間は本能的にそれを解消しようとする
  - 認知的不協和(Festinger 1957)
- 情報を比較することで、特定の機能や特徴に気づかせることができる
  - Schwarz & Bransford (1998) A time for telling. *Cognition & Instruction*, 16(4), 475-522

# 今回の授業で用いた事例対比

- 主張が違っている理由を考えさせる
  - 矛盾する理由を考えることで、複数の文章を深く読むことができる(Thomm & Bromme 2016)

技術者 A の提案



私が提案するのは、回線交換方式と呼ばれる通信方式です。↵  
回線交換方式は、通信を開始するときに専用の通信回線を確保して通信する方式です。↵  
回線を占有して通信するため、通信が始まれば同じ通信速度で通信することができます。これは、パケット交換方式にはない特徴です。↵  
たくさんのコンピュータが同時に通信をしようとする回線が不足し、電話と同じように「話中」や「バンク」で通信できなくなります。これは、電話と同じくらい回線の数を増やせば十分に対応できると考えられます。↵  
将来、コンピュータ同士で重要な情報を通信することになることが予想されます。例えば、銀行間で行う何億円もの取引をコンピュータで行ったり、国の運命がかかるような情報のやり取りも、コンピュータで行うようになるでしょう。そのような大切な通信には、安定した通信速度が欠かせません。そのため、この回線交換方式を提案します。↵

技術者 B の提案



私が提案するのは、パケット交換方式と呼ばれる通信方式です。↵  
これは、送信するデータをパケットと呼ばれる小さいかたまりに分割して、送信する方法です。↵  
回線を占有しないため、1つの回線を色々なあて先のパケットが同時に通過することができます。そのため、たくさんのコンピュータが同時に1つの回線を使って通信できます。これは、回線交換方式にはない特徴です。↵  
あまりに多くのコンピュータが同時に通信をしようすると回線が混雑し、通信速度が低下します。これは、回線を改良し、同時に通れるデータの量を増やすことで、対応できると考えられます。↵  
将来、通信を行うコンピュータの数は爆発的に増えることが予想されます。1人1人がコンピュータを持ち通信を行ったり、自動車やエアコン、お風呂といったいろいろな機械が通信を行うようになるでしょう。その実現には、限られた通信回線で、たくさんの機器が同時に通信を行える必要があります。そのため、このパケット交換方式を提案します。↵

No.	授業のタイトル	授業の内容
1	パケット交換方式と回線交換方式	<ul style="list-style-type: none"><li>•2つの通信方式を実験により比較する</li><li>•実験結果から、それぞれの方式の特徴を、考察する</li></ul>
2	未来の通信方式を選択しよう	<ul style="list-style-type: none"><li>•それぞれの通信方式採用するように提案した文章を読み、違っている理由を発見する</li><li>•どちらを採用すべきか提案する</li></ul>
3	インターネットの仕組み	<ul style="list-style-type: none"><li>•コンピュータネットワークの基本的な仕組みと、インターネットで使われているプロトコルを学ぶ</li></ul>



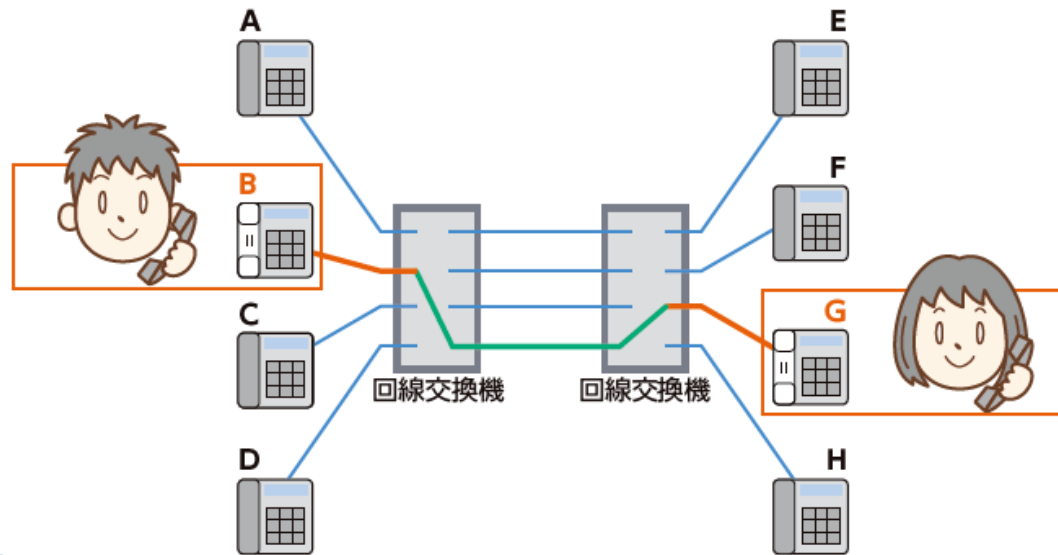
# モデル化と 実験のデザイン



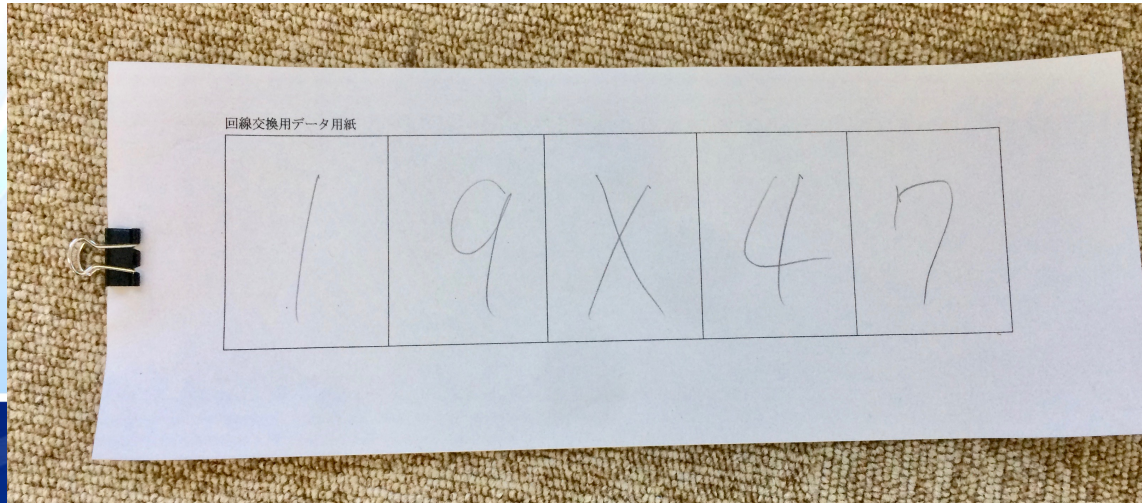
# モデル化にあたり重視したポイント

- 「待ち方」の差がパケット交換と回線交換の違いの本質
  - 他の通信が終わるまで待たされるか
  - 他の通信が行われていても通信を行えるか
- 1回線に限定し、複数の通信を行うコンピュータを設定
- 複数回線ある場合の振る舞いはスコープアウト
  - パケット毎に経路が異なる

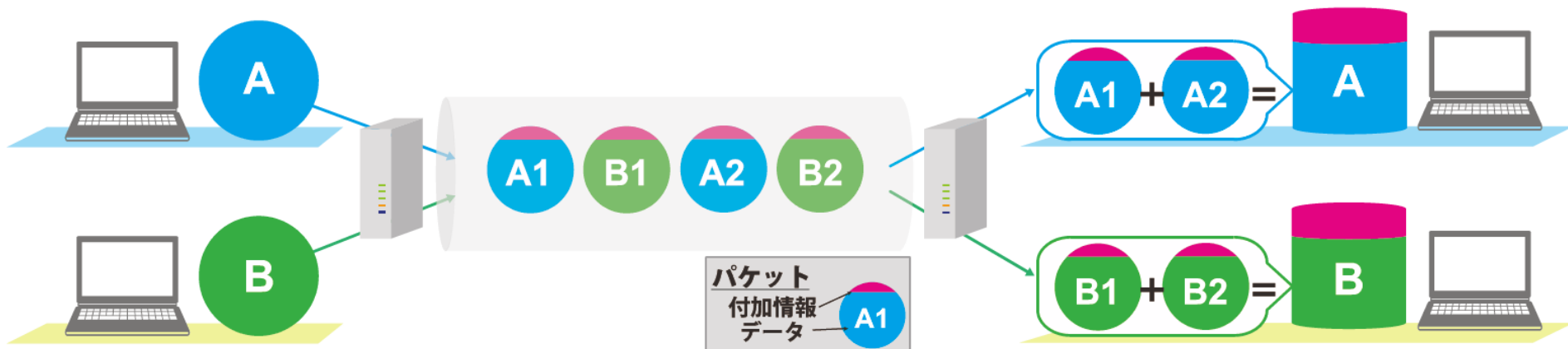
# 回線交換方式のモデル



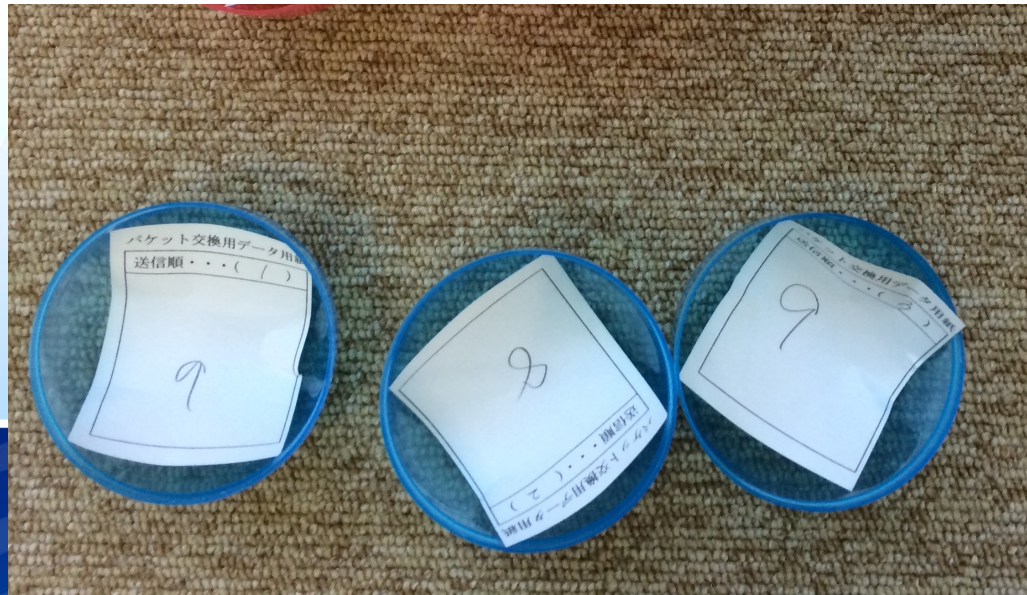
# 回線交換方式の実験



# パケット交換方式のモデル



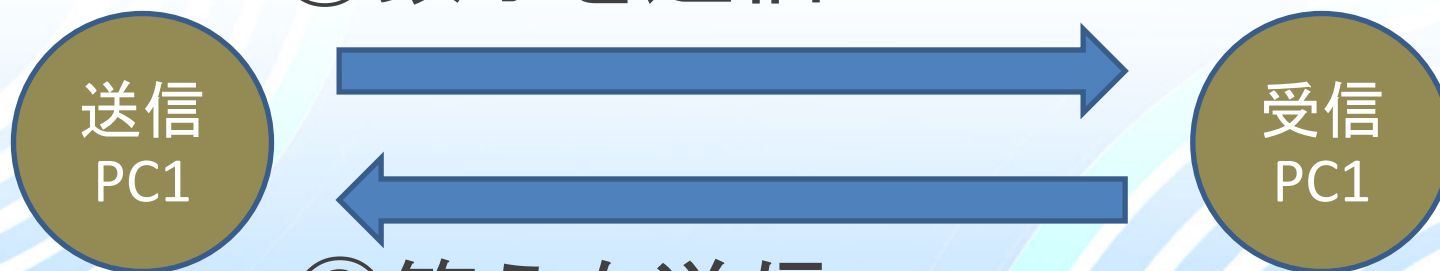
# パケット交換方式の実験



# 実験のデザインのポイント

- 「待ち方」の違いをモデル化
  - 1. 送信PCが計算問題を送信
  - 2. 受信PCが計算を実行
  - 3. 受信PCが計算結果を送信PCに返信

①数字を送信  $17 \times 31$



③答えを送信

- かかった時間を測定
- ビデオを撮影して、特徴を調べる

# 4つの実験を計画

方式	1対1	2対2
回線交換方式		
パケット交換方式		



# 授業展開 1 時間目



# 1時間目 パケット交換方式と回線交換方式

## 状況設定の説明

- ・ 大統領に未来の通信方式を提案する、という設定の説明

## パケットと回線交換の解説

- ・ 簡単な解説

## 実験

- ・ モデルを使って、1対1、2対2の場合について、それぞれ実験を行い、通信にかかる時間を計測する

## 考察

- ・ 結果を比較して言えることを記述する

# 4つの実験を実施

方式	1対1	2対2
回線交換方式		
パケット交換方式		

# 実験の様子

# 実験結果のクラス平均

	1対1	2対2	比べて分かること
回線交換方式	46.6秒	95.8秒	
パケット交換方式	94.0秒	101.6秒	
比べて分かること			

# プリントの記述

①通信完了までにかかった時間をまとめよう

方式	1対1	2対2	
回線交換方式	50秒	101秒	比べて分かること 2対2は1対1の倍以上の 時間がかかっている (50秒以上)
パケット交換方式	83秒	137秒	比べて分かること 2対2は1対1より50秒以上も 時間がかかっている
	比べて分かること パケットの方が30秒以上 かかっている	比べて分かること パケットの方が <u>30秒以上</u> かかっている	

# プリントの記述

①通信完了までにかかった時間をまとめよう

方式	1対1	2対2	
回線交換方式	1分5秒	1分48秒	比べて分かること 1対1よりも2対2のほうがかかった。
パケット交換方式	1分24秒	1分20秒	比べて分かること パケット交換方式の場合は1対1より2対2のほうが複雑になったけど慣れて、早くできた。
	比べて分かること 回路交換 <sup>↓</sup> 複雑ではないから早くできた。 パケット交換は、より複雑になったためおそくなった。	比べて分かること 少しの時間が早くなったのは作業効率を良くできるようにみんなが考えたからだと思います。	



# 授業展開 2時間目

# 2時間目 未来の通信方式を選択しよう

## 1. 実験の考察

- 実験からわかるパケット交換と回線交換の特性を記述

## 2. 矛盾する理由の考察

- 2人の技術者の提案を読み込む
- それぞれの提案が違っている理由を考察する

## 3. 通信方式の提案

- どちらの通信方式を採用すべきか、理由をつけて提案する

## 4. 理解の確認

- 現在、同時に多数のコンピュータが通信できているのはなぜか
- もし、回線交換方式に変わったらどうなるか



# 配布したワークシート

ネットワークの仕組み② …未来の通信方式を選択しよう②

課題1 実験結果から2つの通信方式の特徴を見つけよう  
実験結果のかかった時間を比べて言えることは

・回線交換方式は、  
情報の量が少ないときに向いている

・パケット交換方式は、  
情報量が大きいときに向いている。  
台数が大きいときに有利

課題2 2人の技術者の提案を分析しよう

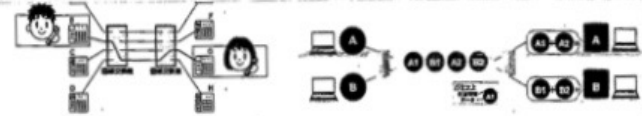
①回線交換とパケット交換の特徴について、2人の技術者の意見を整理しよう

	回線交換方式	パケット交換方式
通信速度について	安定	安定してない
たくさんのコンピュータが同時に通信すると	「渋滞」「パンク」で通信できなくなる	速度が低下するけどできる

②どうして提案する技術が違うのか理由を考えよう

自分の考え	Aさんは、大切な情報をもらさないためと速度を重視している。 Bさんは、利用者が多くなることを考えてたくさんの情報を流せるようにしている。
グループの考え	それぞれの主張する利用目的が違うから。 ・回線とパケットのメリット・デメリットが逆
クラスの考えをまとめると	重視するポイント A, 速度 B, 台数

1717 F



課題3 どちらの技術を採用すべきか、大統領に提案しよう

自分の提案	提案：(回線交換)方式 理由： 重要な情報をもらしてはいけなし、使うとしても電話ぐらいだから。
グループの提案	提案：(パケット交換)方式 理由： とんとん情報が入ってくるから。増えてくるから。

実際に採用された通信方式……(パケット交換)方式

課題4 ( )方式を利用した、現在の通信方式の特徴

課題5 ふいかえり

①2つの方式の特徴を発見できたか……(5 4 ③ 2 1)

②現在のインターネットで、同時にたくさんのコンピュータ同士が情報をやり取りできる理由は

パケット交換でたくさんの台数に情報を送れるから。

もし(回線交換方式)になったら、

回線がめ、ち増えて、パンクが必至。  
でも、大事な情報がもれない!!

③授業を通して、自分が新しく考えたり学べたりしたことを書きましょう

パケットが多くなることは、大事な情報でもれかしたら  
もれるかもだから全部パケットはよくないと思えて。

# 実験結果のクラス平均

	1対1	2対2	比べて分かること
回線交換方式	46.6秒	95.8秒	
パケット交換方式	94.0秒	101.6秒	
比べて分かること			

# 1.実験の考察

かかった時間を比べて分かることは

- 回線交換方式は・・・
- パケット交換方式は・・・

**3対3、5対5と通信するコンピュータの  
数が増えたらどうなるだろう**

# 1.実験の考察

## かかった時間を比べて分かることは

**課題1 実験結果から2つの通信方式の特徴を見つけよう**

実験結果のかかった時間を比べて言えることは

• 回線交換方式は、

1対1だととても速い!

2対2、3対3と増えていくと時間が倍になって

• パケット交換方式は、

1対1と2対2の時間の差が「少しだけ」

あっても、回線交換方式より速くできる。

## 科学的特徴を実験結果から発見

## 2.矛盾する理由の考察

### 技術者 A の提案



私が提案するのは、回線交換方式と呼ばれる通信方式です。  
回線交換方式は、通信を開始するときに専用の通信回線を確保して通信する方式です。  
回線を占有して通信するため、通信が始まれば同じ通信速度で通信することができます。これは、パケット交換方式にはない特徴です。  
たくさんのコンピュータが同時に通信をしようとすると回線が不足し、電話と同じように「話中」や「パンク」で通信できなくなります。これは、電話と同じくらい回線の数を増やせば十分に対応できると考えられます。  
将来、コンピュータ同士で重要な情報を通信することになることが予想されます。例えば、銀行間で行う何億円もの取引をコンピュータで行ったり、国の運命がかかるような情報のやり取りも、コンピュータで行うようになるでしょう。そのような大切な通信には、安定した通信速度が欠かせません。そのため、この回線交換方式を提案します。

### 技術者 B の提案



私が提案するのは、パケット交換方式と呼ばれる通信方式です。  
これは、送信するデータをパケットと呼ばれる小さいかたまりに分割して、送信する方法です。  
回線を占有しないため、1つの回線を色々なあて先のパケットが同時に通過することができます。そのため、たくさんのコンピュータが同時に1つの回線を使って通信できます。これは、回線交換方式にはない特徴です。  
あまりに多くのコンピュータが同時に通信をしようとすると回線が混雑し、通信速度が低下します。これは、回線を改良し、同時に通れるデータの量を増やすことで、対応できると考えられます。  
将来、通信を行うコンピュータの数は爆発的に増えることが予想されます。1人1人がコンピュータを持ち通信を行ったり、自動車やエアコン、お風呂といったいろいろな機械が通信を行うようになるでしょう。その実現には、限られた通信回線で、たくさんの機器が同時に通信を行える必要があります。そのため、このパケット交換方式を提案します。

## 2.矛盾する理由の考察

自分の考え	<p>① 通信が始またら、同じ通信速度でできるし、大切は通信には、安定した通信速度が欠かせない。</p> <p>② たくさんのコンピューターが同時に1つの回線を使えるし、限られた回線で、たくさんの機器が同時に通信を行える。</p>
グループの考え	<p>① 大切は通信には、安定した通信速度が欠かせない。</p> <p>② 限られた回線で、たくさんの機器が同時に通信を行える。</p>
クラスの考えをまとめると	<p>重視するポイント</p> <p>① 速度 ② 台数</p>

### 3.通信方式の提案

どちらの技術を採用すべきか、大統領に提案しよう

**自分の提案**

**提案:( )方式**  
**理由:**

**グループの提案**

**提案:( )方式**  
**理由:**

### 3.通信方式の提案

どちらの技術を採用すべきか、大統領に提案しよう

#### 課題3 どちらの技術を採用すべきか、大統領に提案しよう

自分の提案	提案：(回線交換)方式 理由： 技術者Aが「 <u>国の運命がかかる</u> 」 と言ってから
グループの提案	提案：(パケット交換)方式 理由： 数が多し、回線を増やせば、パケットも遅くならないから



### 3.通信方式の提案

どちらの技術を採用すべきか、大統領に提案しよう

#### 課題3 どちらの技術を採用すべきか、大統領に提案しよう

自分の提案	提案：(パケット交換)方式 理由： <u>時代が進むにつれコンピュータの数はどんどん増加していき</u> と思うから、速度はそんなに速くなくても台数をたえられるパケット交換方式が良いと思った。
グループの提案	提案：(パケット交換)方式 理由： 回線交換方式はいくら通信速度が速くてもパンクしたり回線が止まってしまうと意味がないから

## 4.理解の確認

- ② 現在のインターネットで、同時にたくさんのコンピュータ同士が情報をやり取りできる理由は

もし、( 回線交換方式 ) になったら、

# 4.理解の確認

②現在のインターネットで、同時にたくさんのコンピュータ同士が情報をやり取りできる理由は

パケット交換の特徴のたくさんの情報が同時に送られる。  
もし、(回線交換式)になったら、

みんなが1つ1つを11して、回線不足になる。

# 4.理解の確認

②現在のインターネットで、同時にたくさんのコンピュータ同士が情報をやり取りできる理由は

パケット交換方式の方がメリットのきほ"が大き  
いし、改良しやすい。

もし、(回線交換方式)になったら、

全員が同時に操作できなくなるから  
決まりなとかか"できて大変だ"と思う。

②授業を通して、



# 分析

# 提案する方式と根拠の分析

- 提案の理由に、科学的な根拠を書けているか分析
  - 書けていない、不十分、書けている

## 科学的根拠として十分と判断した記述

提案する方式	科学的根拠が書けると判断する記述
回線交換方式	•速度が一定／安定している
パケット交換方式	•コンピュータ／ユーザ数の増加への対応 •回線混雑時でも通信可能

## 不十分としたものの記述例

提案する方式	科学的根拠として不十分と判断した記述の例
回線交換方式	•安全
パケット交換方式	•たくさんのデータを送信できる •同時に複数の宛先に送れる

# 提案する方式と根拠の分析

160人中156人のワークシートを分析

科学的根拠の記述	回線交換	パケット交換
書けていない	2	10
不十分	9	12
書けている	27 (速度:27)	95 (増加対応:67 混雑時通信可能:36)

- パケット交換を提案した生徒が75% 単位:人
- 提案した方式による根拠の有無に有意な偏りはなし
  - カイ二乗検定による ( $\chi^2(2) = 4.592, n.s.$ )

# 定期テストの正答率

## 2学期期末テスト 12月実施

3) 次の①～⑤は、「ア. 回線交換方式」と「イ. パケット交換方式」のどちらの通信方式について述べているか。アとイの記号で答よ。(各1点)

- ① 情報が伝わる回線を占有して使えるため、安定した通信速度で通信できる。
- ② 多くのコンピュータが同時に通信しようとする時、パンクして通信できなくなることがある。
- ③ 後で送った情報が、前に送った情報よりも先に届くことがある。
- ④ 多くのコンピュータが同時に通信しようとする時、通信速度が遅くなる時がある。
- ⑤ 1つの回線で、複数のコンピュータが同時に通信できる。

各問いの正答数を、本研究の対象クラスと、従来の授業(調べ学習とレポート作成)を行ったクラスで比較した。

		①	②	③	④	⑤
対象クラス	誤答	39	54	43	58	28
	正答	120	105	116	101	131
その他クラス	誤答	61	69	72	76	78
	正答	91	83	80	76	74
p値(**:p<0.01)		** <0.01	<.05	**<0.01	<.05	**<0.01

p値は $\chi^2$ 乗検定より導出





**考察**

# パケット交換と回線交換を比較する実験

- それぞれの通信方式の特徴を見出すことができた
- モデル化する対象を絞ったことの成果
  - 回線を1本のケースに限定
  - 比較対象を通信にかかる時間に

## 課題1 実験結果から2つの通信方式の特徴を見つけよう

実験結果のかかった時間を比べて言えることは

- 回線交換方式は、  
1対1だととても速い！  
2対2、3対3と増えていくと時間が倍になって
- パケット交換方式は、  
1対1と2対2の時間の差が「わずかいかに」  
あっても、回線交換方式より速くていい。

# 通信方式の提案と根拠

- 多くの生徒が科学的な根拠を理由として記述
  - 回線交換方式: 71.1%
  - パケット交換方式: 81.2%
- 実験、事例対比を通して、科学的特徴を正しく理解
- 「科学的な理由を書きなさい」という指示はなし
  - ミッションの性質、実験、事例対比
  - これらの授業デザインを通して生徒が自ら判断／推論を行うことができた

# 発見的に学習した科学的知識の定着

- 定期テストの結果より、調べ学習のクラスに比べ、有意に良好な理解を促すことができた。
  - 定期テスト全体の得点については有意な差は見られなかった
  - 探究クラス：42.8点 (SD = 14.5), 調べ学習クラス 44.4点 (SD = 15.5)

# 発見的に学習した科学的知識の定着

- 「③後で送った情報が、前に送った情報よりも先に届くことがある」についても探求型クラスが有意に良好
  - この特徴については、探求的に学習していない
  - 3回目の授業で、5分程度で解説
- モデルを用いた実験や事例対比を通して、それぞれの方式をより良く理解
  - 新しい知識をスムーズに取り入れられた (cf. Schwarz & Bransford 1998)
  - 学習の初期に、モデルや概念を正しく理解することが、その後の学習の効率に影響する可能性

# まとめ

- 情報通信ネットワークの仕組みを探求的に学習できる授業実践を開発
  - モデルを用いて身体的認知を促す実験を実施
  - 実験結果と文章を用いた事例対比による検討
- ワークシートと定期テストを分析
  - Webを用いた調べ学習を行ったクラスと比較し、科学的特徴をより理解していた
- 定量的な実験結果の比較から特徴を見出す授業
  - 大きな成果

# APPENDIX

# プリントの記述

①通信完了までにかかった時間をまとめよう

方式	1対1	2対2	
回線交換方式	28秒	79秒	比べて分かること 1対1が <u>早い</u>
パケット交換方式	111秒	86秒	比べて分かること 2対2の方が <u>少し早い</u>
	比べて分かること 回線交換の方が 早い	比べて分かること 回線交換の方が 早い	



## 2.矛盾する理由の考察

### ②どうして提案する技術が違うのか理由を考えよう

自分の考え	Aさんは安定した速度がかかせないがパンクすると通信できなくなる。 Bさんはたくさん機器が同時に通信を行えるけど速度が遅い方をおいている。
グループの考え	Aさんは安定した速度がかかせない Bさんはデータ通信の量がかかせない
クラスの考えを まとめると	重視するポイント A: 速度 B: 台数

## 2.矛盾する理由の考察

自分の考え	<p><u>重要に考えていることが違うから。</u></p> <p>Aさんは、銀行間や国でのやりとりのような重要な情報をききとったえふ木のように、 Bさんは多くの人がか一度に色々な機器で通信を行えるようにしている</p>
グループの考え	
クラスの考えをまとめると	<p>重視するポイント</p> <p>A: 速度      B: 台数</p>

# 4.理解の確認

②現在のインターネットで、同時にたくさんのコンピュータ同士が情報をやり取りできる理由は

1つの回線を色分けして先のパケットが同時に通過できるから

もし、(回線交換方式)になったら、

回線が不足し、パケットが送れないことになる。

### 3.通信方式の提案

どちらの技術を採用すべきか、大統領に提案しよう

#### 課題3 どちらの技術を採用すべきか、大統領に提案しよう

自分の提案	提案：( パケット交換 ) 方式 理由：少し遅くても、結局は届くかもしれないけど、 パケット交換方式なら、 <u>1つの回線ですべての情報を送ることができるから。</u>
グループの提案	提案：( ネット ) 方式 理由：回線は1本に1つだけ、きょくなんども送ることになるから、それなら何度も送らなくて1回で済ませられるし、 こちらの方が有利だから。