分散システム

第1回 分散システム概説

双見 京介（FUTAMI Kyosuke）
高田秀志（TAKADA Hideyuki）
2025年10月

分散（Distributed）システムとは

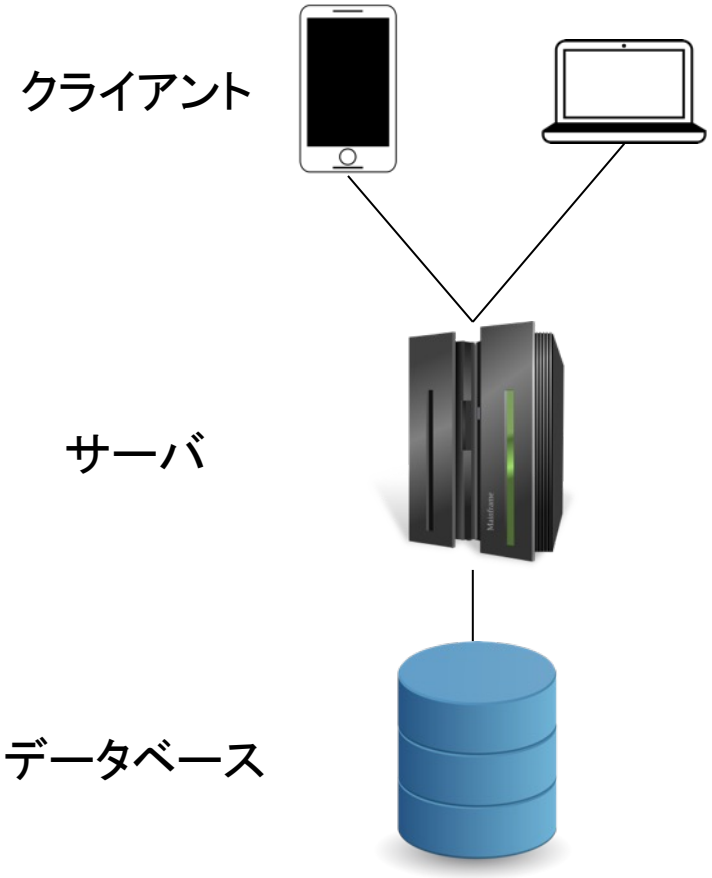
- 分散システムの例・・・今日のほぼすべての情報システム
  - X(Twitter)，LINE，Facebook，オンラインゲーム，Web
  - ATM，コンビニ端末，自動券売機，自動改札機
  - ネット家電，スマートスピーカー，自動運転車（将来）
- 複数のコンピュータと，それらを接続するネットワークにより構成される
- 分散システムの対義語は集中（Centralized）システム
  - １台のコンピュータからのみ構成される
  - 単一プロセッサ（single-processor）システムとも呼ばれる

分散システムの定義

「分散システムは，そのユーザに対して**単一で首尾一貫したシステム**として見える**独立したコンピュータの集合**である」　（参考書 「分散システム　―原理とパラダイム―　第2版」に基づく）

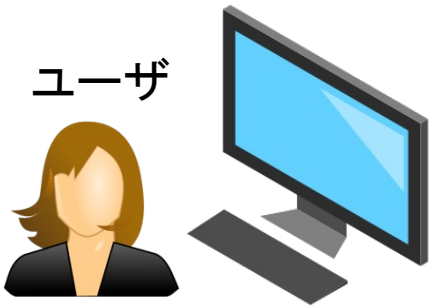
- 「独立したコンピュータの集合」
  - 複数のコンピュータにより構成されている
  - それぞれのコンピュータは単独でも動作できる
- 「単一で首尾一貫したシステム」
  - ユーザには複数のコンピュータにより構成されていることを意識させない
  - 処理結果や状態に何の矛盾もない

分散システムの典型的構成

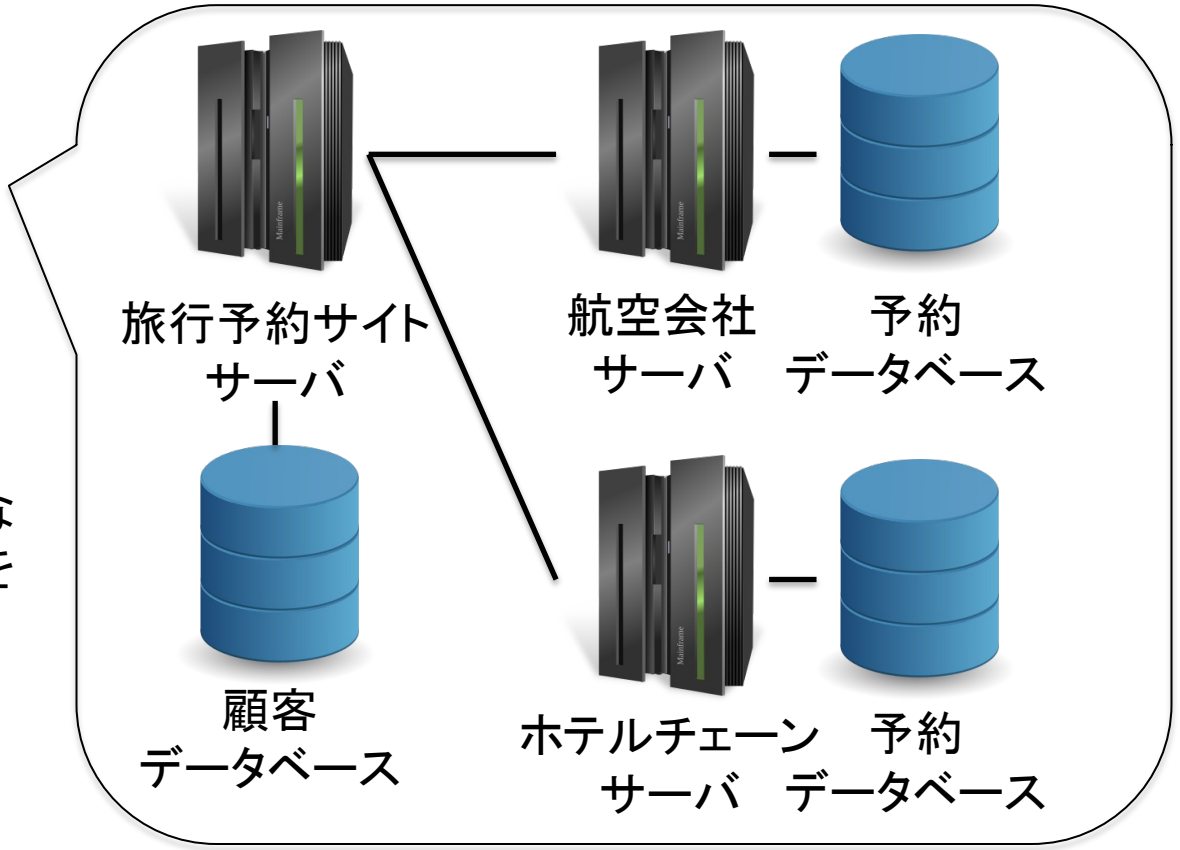


- 一つのサーバが多くのクライアントと通信する
- データベースは，サービスで提供されるコンテンツを格納する
- ユーザはサーバの存在を意識していない

ユーザと開発者の視点



ユーザは背後に膨大なシステムがあることを意識せずに利用できる



ユーザに背後に膨大なシステムがあることを意識させないようなシステムを構築する

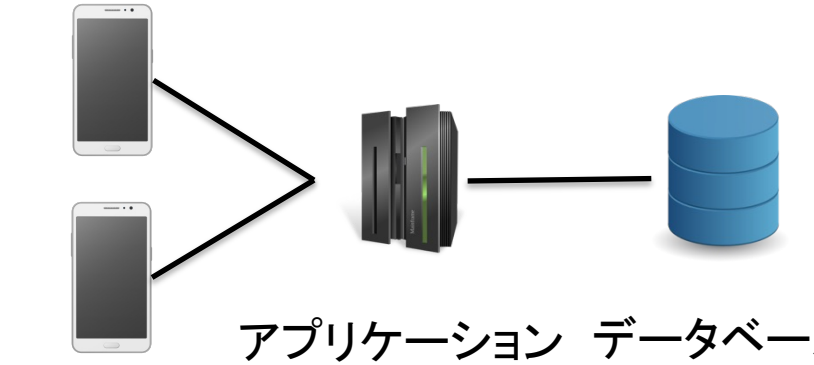
背後がどうなっているのかが本科目の主題

Distributed processing　　Parallel processing

分散処理と並列処理

そもそも
分散している
もの

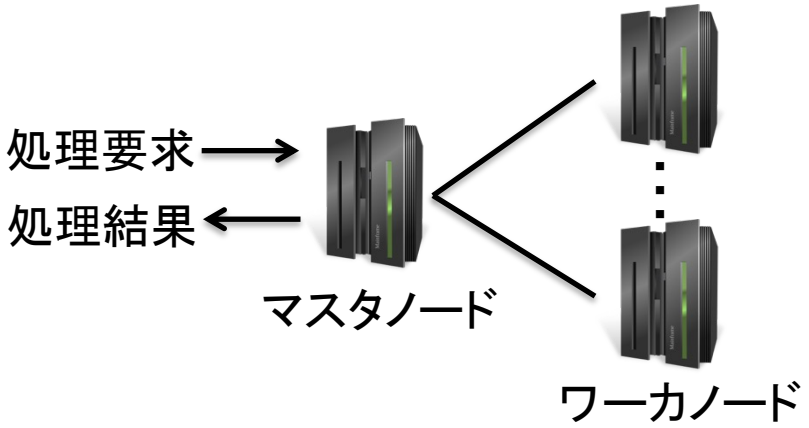
分散していない場合を
考えても意味がない



例：Webアプリ
異質の役割を果たす
要素が連携して動作
（分散処理）

あえて
分散させている
もの

性能や耐故障性の向上
を目的として分散させる

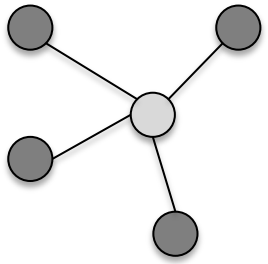


例：ビッグデータ処理
同質の役割を果たす
要素（ワーカノード）が
連携して動作
（並列処理）

多くの分散システムの中では，分散処理と並列処理が共存している
（例：負荷分散されたWebアプリ）

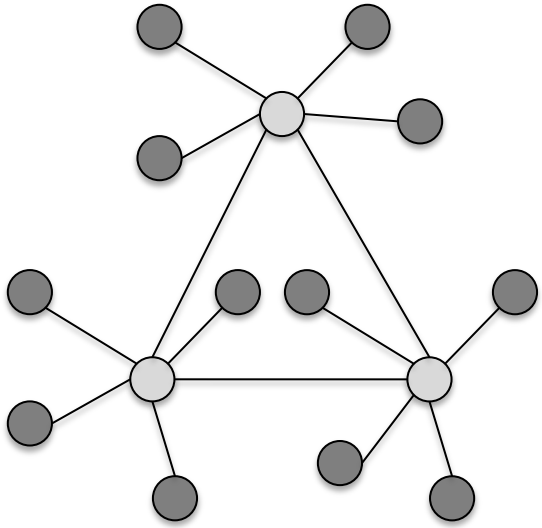
集中・非集中・分散

複数のコンピュータの接続形態による分類



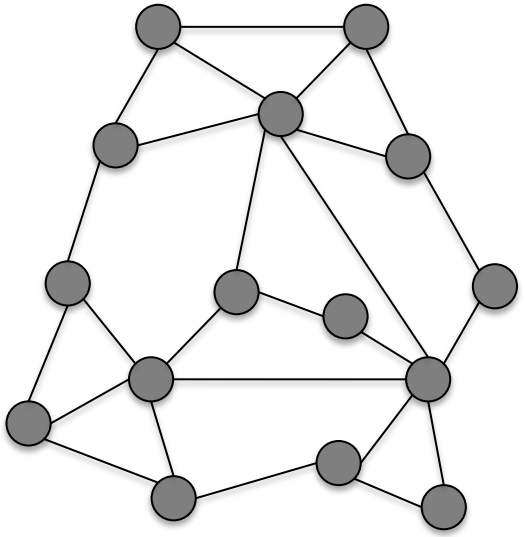
集中
（Centralized）

サーバが一つ



非集中
（Decentralized）

複数のサーバが連携



分散
（Distributed）

クライアントとサーバの
区別がない

分散システムの目的

- リソースへのアクセス性向上
  - 遠隔のリソース（プリンタ，コンピュータ，ファイルなど）が，制御されかつ効率的な方法で他のユーザと共有できる
- 分散透過性（Distribution transparency）
  - 分散システムのプロセスやリソースが複数のコンピュータにまたがって物理的に分散している事実を隠蔽する
- 開放性（Openness）
  - サービスは，サービスのシンタックスとセマンティクスを記述するための標準規則に従って提供される
- スケーラビリティ（Scalability）
  - システムは，その大きさや地理的な領域，管理的側面において拡張できなければならない

分散透過性

ユーザに対して「単一で首尾一貫したシステム」として見せるために，複雑な処理・構成を隠蔽する（隠す）

種類	内容
アクセス（access）透過性	データ表現規則やリソースへのアクセス方法の違いを隠蔽
位置（location）透過性	リソースの物理的な存在位置を隠蔽
移動（migration）透過性	リソースの位置の変化を隠蔽
再配置（relocation）透過性	使用中のリソースの移動を隠蔽
複製（replication）透過性	リソースが複製されていることを隠蔽
並行（concurrency）透過性	複数プロセスによるリソース利用の競合を隠蔽
障害（failure）透過性	システム内に発生した障害を隠蔽

すべての透過性を高い水準で実現することは現実的ではないので，技術的限界，要求事項，コストなどに応じて個別に判断が必要

分散透過性による隠蔽（1）

- アクセス透過性
  - クライアントやサーバの様々な違い（CPU，OS，インタフェース等）に依らず，リソース（ファイル等）にアクセス可能
- 位置透過性
  - サーバ（例えば，www.ritsumei.ac.jp）が物理的にどこに存在しているかを知らなくてもアクセス可能
- 移動透過性
  - サーバ内のファイルが別のディレクトリに移動されても，ユーザやクライアントは同じ方法（例えば，同じURL）でアクセス可能
- 再配置透過性
  - スマートフォンを利用しながら移動しても，ユーザは切断されることなく継続して利用可能

分散透過性による隠蔽（2）

- 複製透過性
  - 遠くのサーバにあるデータを一時的にクライアントにコピーしても，ユーザはコピーされていることを気にせずに利用可能（Webブラウザのキャッシュ）
  - ユーザが意識することなくデータのバックアップを保存
- 並行透過性
  - 共有プリンタや共有ファイルを，他の人と共有していることを気にせずに利用可能
- 障害透過性
  - サーバの一部が故障しても，ユーザはシステムを継続して利用可能
  - システムが故障から回復した場合，ユーザは気にせずに利用可能

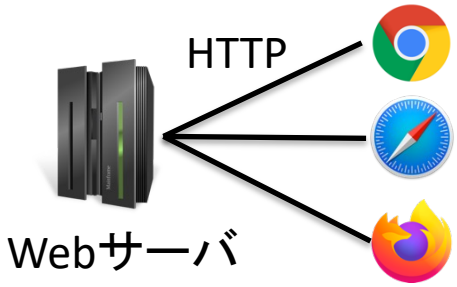
開放性

- 分散システムにおけるサービスは，「インタフェース定義言語」（**Interface Definition Language, IDL**）に記述された「インタフェース」によって 規定される
  - 機能の名前
  - パラメータの型
  - 返り値
  - 発生しうる例外
- 異なる実装が共存し，一緒に動作できる（相互運用性，**Interoperability**）
- システムAのために構築されたアプリケーションが，修正を行わなくても，異なるシステムBの上で実行できる（可搬性，**Portability**）

開放性の実現例

「プロトコルが開かれていること」が重要

- 例えば「電源コンセント」
  - どのメーカの機器でも接続可能（相互運用性）interoperability
  - 規格が統一され，公開されている
- 分散システムにおけるプロトコルの開放



Webサーバとブラウザ間のプロトコルが公開されているので，Webは様々なブラウザで利用可

Weiboサーバへのアクセス仕様（API）が公開されているため，第三者がアプリを開発可

スケーラビリティの必要性

- 分散システムにおけるボトルネック
  - CPUの計算能力（多数の処理）
  - ストレージの容量（大量のデータ）
  - ネットワークの帯域（大量の通信）
- スケーラビリティの観点
  - 大きさ
    - ユーザやリソースの数が増える
  - 地理的な広がり
    - ユーザやリソース間の距離が増える（通信遅延が発生）
  - 管理組織
    - 相互接続されたシステムを管理する組織の数が増える

スケーラビリティの技法

- 非同期（Asynchronous）通信
  - サーバからの応答を待つのではなく，要求側で他の作業を実行する
  - WebプラットフォームのAJAX（Asynchronous JavaScript + XML）で実現
- 配信（Distribution）
  - コンポーネントを複数の小さな部分に分割し，システム全体に散らばらせる
  - インターネット上のDNS（Domain Name Service）
- 複製（Replication）とキャッシュ（caching）
  - コンポーネントをシステム内に複製する
  - 一貫性（Consistency）の問題が発生する

分散システムの特性

- どのマシンもシステムの状態に関するすべての情報を持たない
  - どのサーバやクライアントが動作しているのか/止まっているのかをすべて知っているマシンはない
- マシンはローカルな情報のみに基づいて判断する
  - プログラムがアクセスできるのはマシン内のメモリのみ
- グローバルクロックが存在するという仮定はない
  - すべてのマシンが正確に時刻を知ることはできない
  - すべてのマシンが同期して動作することは困難

分散システムの制約

開発者が陥りやすい誤解（Pitfalls，落とし穴）

1. ネットワークは信頼性がある
2. ネットワークはセキュアである
3. ネットワークは均一である
4. トポロジーは変化しない
5. 遅延は存在しない
6. 帯域幅は無限である
7. 転送コストはゼロである
8. 存在する管理者は唯一である

Peter Deutsch (1994) and James Gosling (1997)

本科目で習得すること

- アーキテクチャ・・・分散システムの構成
- プロセス・・・分散システムの動作
- 通信・・・分散システム内のデータのやり取り
- 名前付け・・・分散システムで用いられる名前
- 一貫性と複製・・・分散システムで行われるデータのコピー
- セキュリティ・・・分散システムの安全性
- フォールトトレラント性・・・分散システムにおける障害対策