

TEA-CUP方式に基づく エリア分割型サーバ選定手法

電気通信大学 I 類

コンピュータサイエンスプログラム 吉永研究室

2311229 吉岡暖

研究背景

背景

- ・ モバイル端末の普及に伴い、動画コンテンツを中心に通信量が増加
- ・ 基地局負荷の増大 → D2Dキャッシュネットワークによる負荷軽減
- ・ キャッシュサーバ協力には報酬コスト → 少数で高性能が重要
- ・ ユーザ分布変化への対応が必要

研究内容

- ・ TEA-CUP方式[1]をもとに、ユーザ分布などの環境変化に応じてキャッシュサーバの選定率を調整する手法

[1] 田村郁己, “分散協調色キャッシュにおけるTEA方式をもとにしたキャッシュサーバ勧誘手法の提案,” 電気通信大学 卒業論文, Feb. 2026.

先行研究 1

- TEA (Templatized Elastic Assignment) 方式[2]

概要：高効率なコンテンツ配置を軽量に計算しテンプレート化

特徴：コンテンツアクセスの偏り（Zipf則）と端末台数に基づき、遺伝的アルゴリズムを用いてコンテンツ配置を短時間で導出

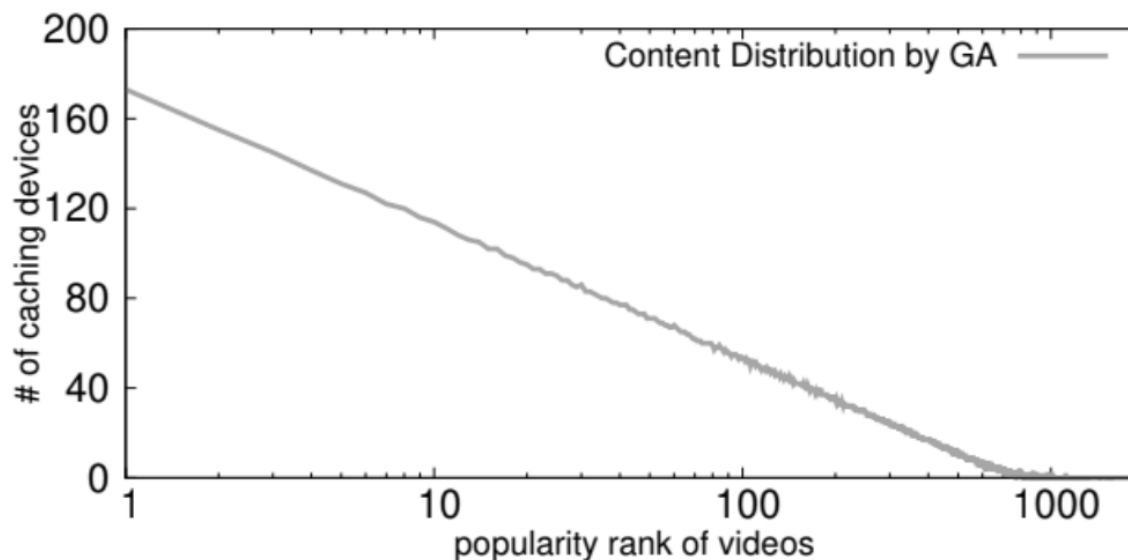


図1: 遺伝的アルゴリズムによって得られた最適なコンテンツ分布[2]

[2] 城間隆行, 策力木格, 吉永努, “モバイルデバイスの分散キャッシュネットワークにおける軽量・高効率なコンテンツ配置の実現,” 信学技報, vol. 119, no. 147, pp. 229-234, July 2019.

先行研究 2

・ TEA-CUP (Templatized Elastic Assignment-based Cache Utilization Policy) 方式[1]

課題：TEA方式をサーバ勧誘として用いると、SVC (Scalable Video Coding) 形式における保持チャンク数や画質の偏りが考慮されずQoSが低下する

解決策：TEAで決定した選定台数に基づき、端末のキャッシュ内容に応じた優先制御を導入

1. 保持チャンク数制御: 保持チャンク数が多い端末を優先して選定
2. 中画質優先制御: 高画質への偏りを防ぐため、中画質チャンク保持端末を一定割合優先して選定

→ 高品質かつバランスの良いキャッシュサーバ勧誘を実現

[1] 田村郁己, “分散協調色キャッシュにおけるTEA方式をもとにしたキャッシュサーバ勧誘手法の提案,” 電気通信大学 卒業論文, Feb. 2026.

先行研究 3

・ MATE (D2D-enhanced Multi-bitrate video cAching straTEgy) 方式[3]

概要：クラウド・エッジサーバ・端末の3階層が協調し、マルチビットレート動画のキャッシュネットワークを構築

手法：

- ・ 端末層：貪欲法とラグランジュ乗数法によりキャッシュ内容を高速決定
- ・ エッジ層：マルチエージェント深層強化学習によりキャッシュ戦略を動的に最適化

課題：D2D協調キャッシュサーバとなる端末は、全端末から一定割合で勧誘すると仮定

→ TEA-CUPが行うような、端末の保持コンテンツに基づく優先的な勧誘については言及していない

[3] H. Sun, H. Chen, X. Fan, Z. Ni, L. Wu, and W. Liu, "MATE: A D2D-Enhanced Multi-Bitrate Video Caching Strategy for CloudEdge-Device Collaborative Networks," IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 25, no. 5, pp. 6966-6980, May 2026.

研究課題

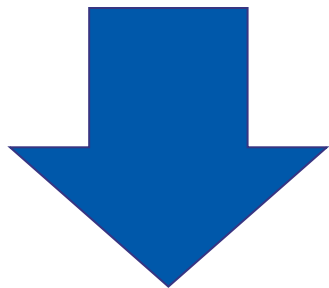
- 既存のTEA-CUP方式の課題

- ユーザの一樣分布を前提としており、分布の偏りを考慮していない[1]

- エリア分割、分布の偏りの導入と新たな課題

- 4つのエリアに分割し、キャッシュサーバの選定率を一律にすると既存のTEA-CUP方式（分割なし）より性能低下

- 特にユーザの過疎エリア（Q2）での性能低下が顕著



- 提案

分割なしにおけるサーバ選定傾向を参考に、
密度分布に応じてエリア別のサーバ選定率調整

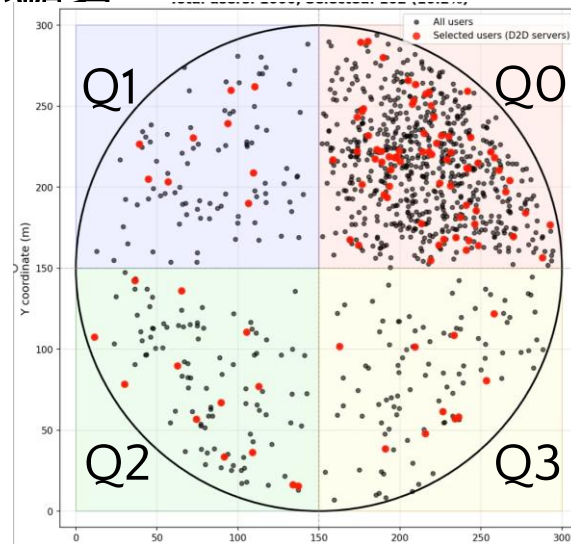


図2: 密集時におけるユーザ分布

実験

- ・ シミュレーション条件

- ・ サービスエリア半径 : 150m, ユーザ数 : 1000人, 時間 : 1200秒,
SVC方式 (Low, Middle, High)のコンテンツ, 中画質優先割合 : 30%,
Zipf則 : 1.4

- ・ 比較する4つのキャッシュサーバ選定手法

1. 分割なし（既存のTEA-CUP方式） : エリア全体の全端末から10%を選
定

2. 分割あり（均等選定率） : Q0:10%, Q1:10%, Q2:10%, Q3:10%

3. 分割あり（密集期選定率） : Q0:8%, Q1:12%, Q2:15%, Q3:12%

→密集期の分割なしにおける選定台数と端末数の比から設定

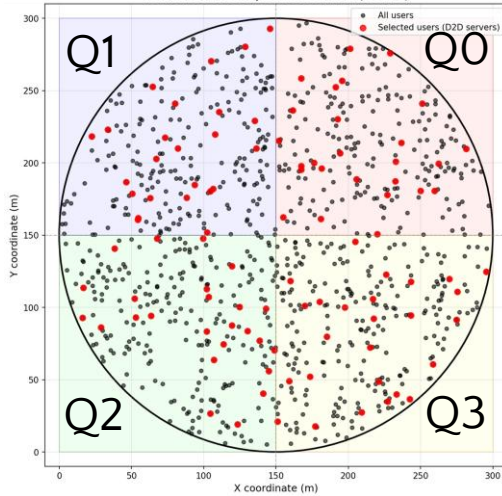
4. 分割あり（移動期選定率） : Q0:10%, Q1:13%, Q2:9%, Q3:9%

→移動期の分割なしにおける選定台数と端末数の比から設定

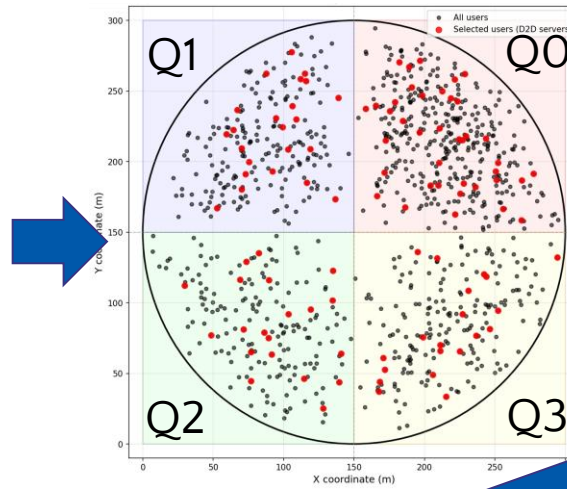
- ・ 動画視聴割合とD2Dキャッシュヒット率を比較評価する

実験（ユーザの移動シナリオ）

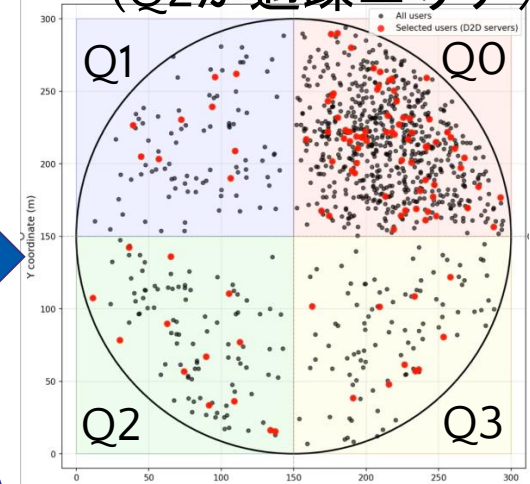
初期配置



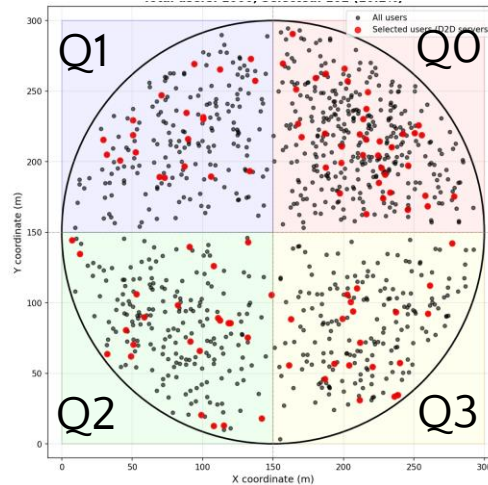
Q0への移動



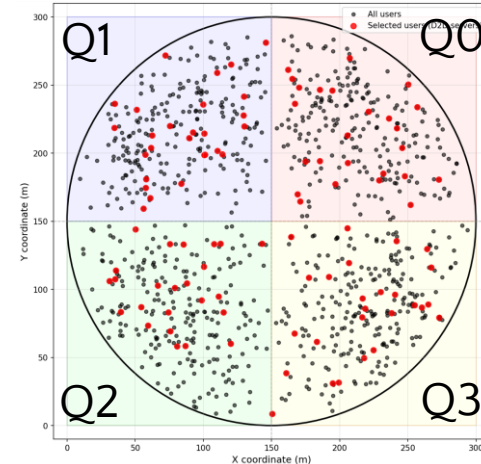
Q0への密集
(Q2が過疎エリア)



各エリアへの分散



終了



実験結果（全体の動画視聴割合）

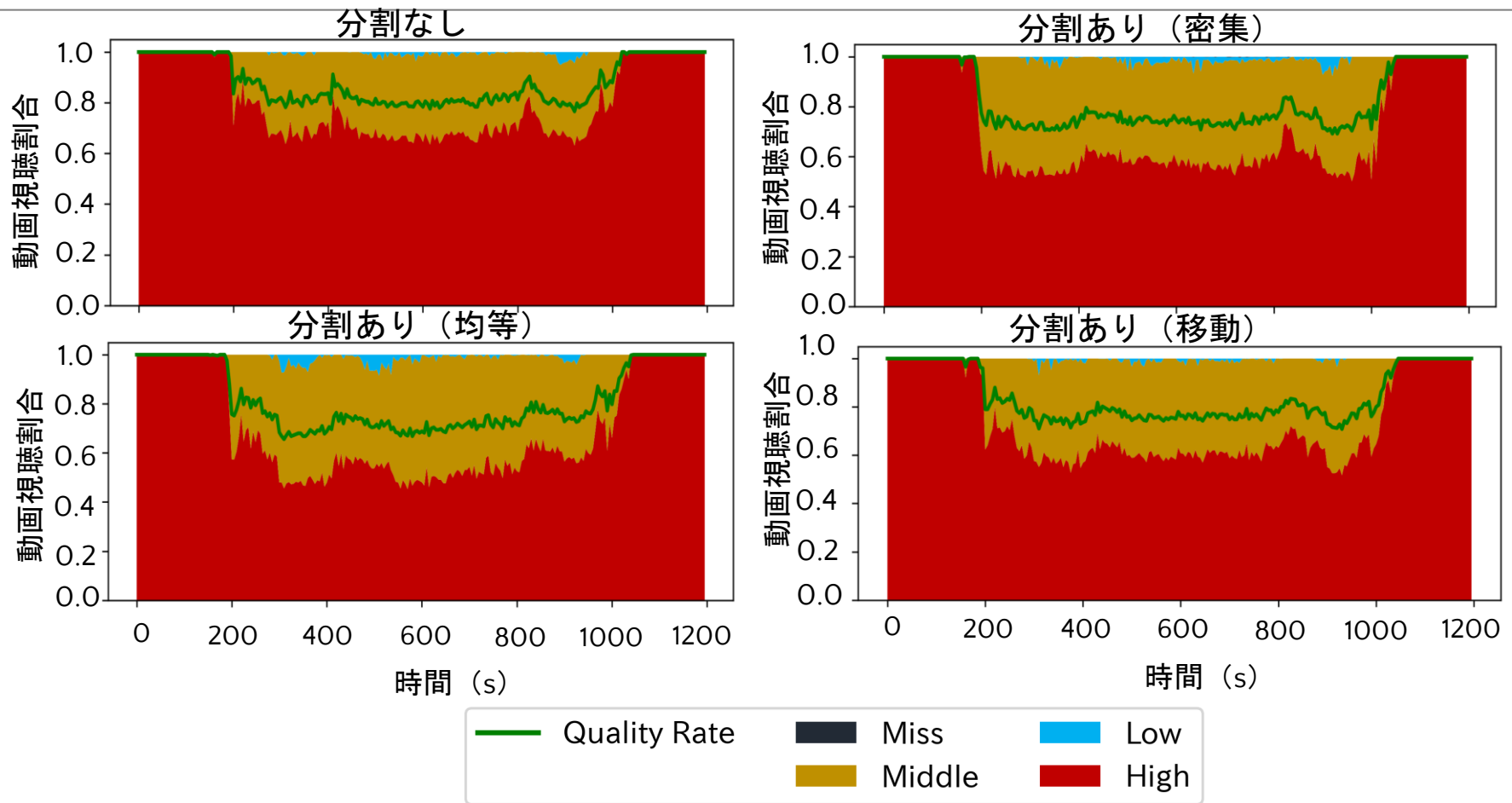


図3: 全体の動画視聴割合

大きな差は見られなかった

実験結果（Q2の動画視聴割合）

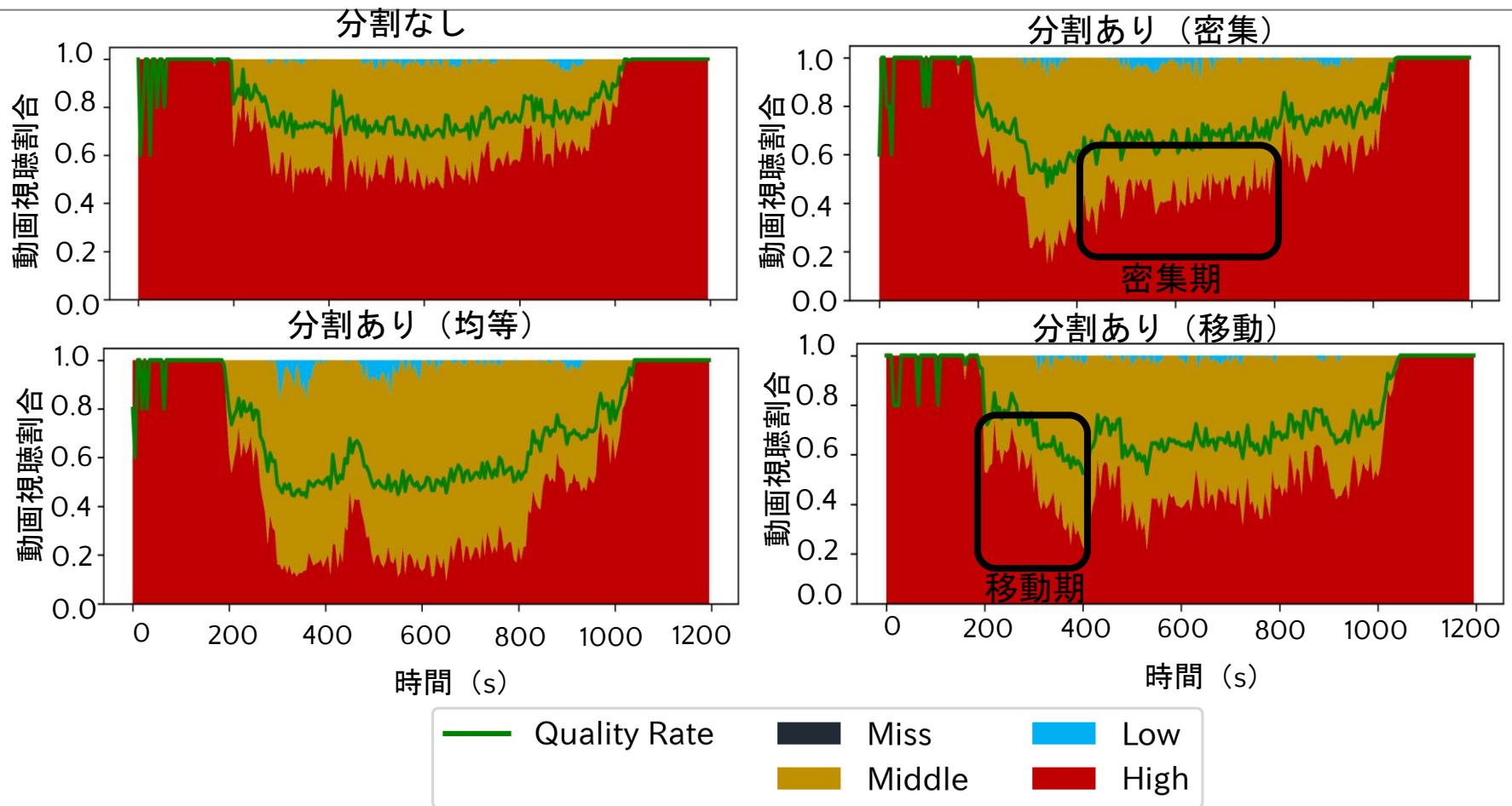


図4: Q2の動画視聴割合

密集期選定率は密集期、移動期選定率は移動期に、
高画質割合が均等選定率より向上

実験結果（D2Dキャッシュヒット率）

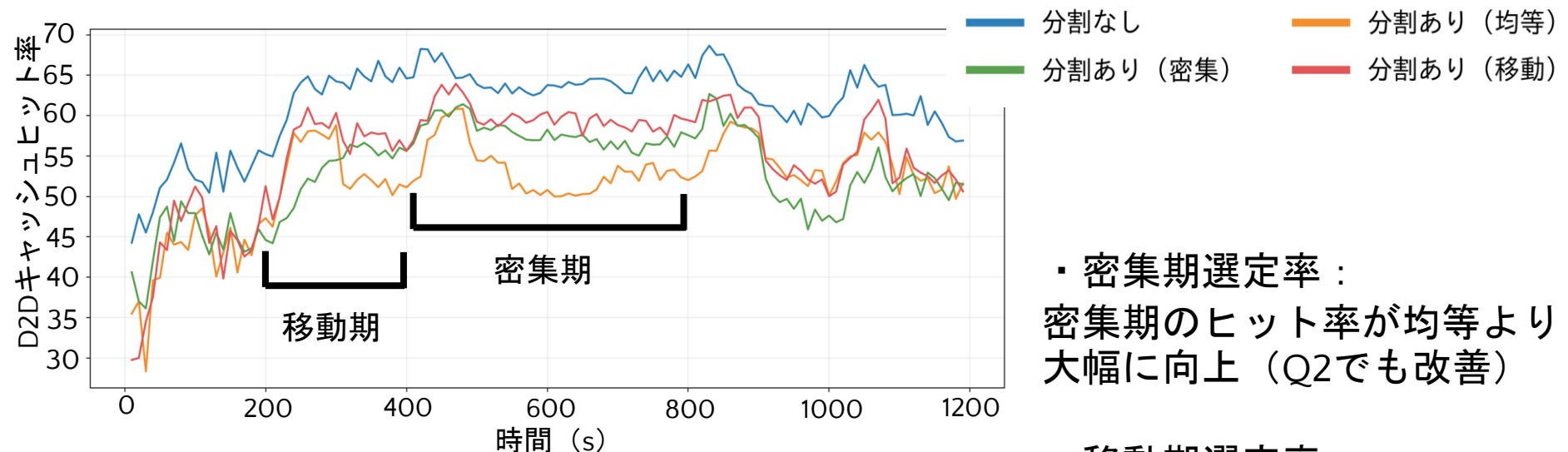


図5: 全体のD2Dキャッシュヒット率

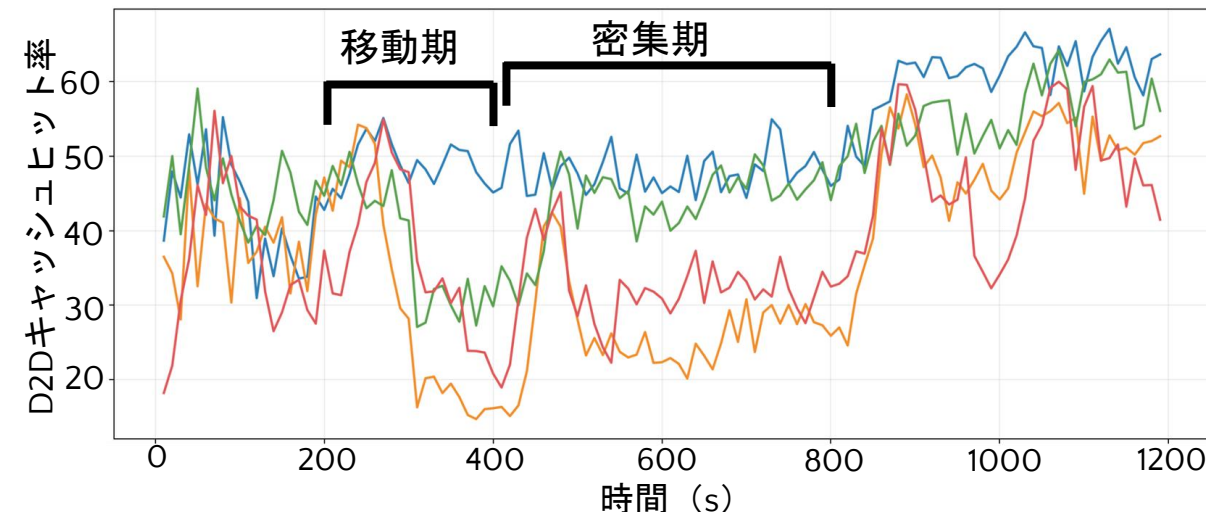


図6: Q2のD2Dキャッシュヒット率

・ 密集期選定率：
密集期のヒット率が均等より大幅に向上（Q2でも改善）

・ 移動期選定率：
移動期の全体ヒット率が向上
Q2では均等並みに低下
→期間ごとに最適な選定率が異なる

今後の方針

- ・ 動的選定アルゴリズムの構築: 様々なユーザ分布や動画リクエストパターンでの最適な選定率を学習させ、リアルタイムに選定率を調整