

エンドツーエンド 許容遅延制約環境での SDNフロー集約特性

小杉山拓弥[†] 田辺 和輝[†] 中山 裕貴[#] 林 經正[#] 山岡 克式[†]

[†] 東京工業大学

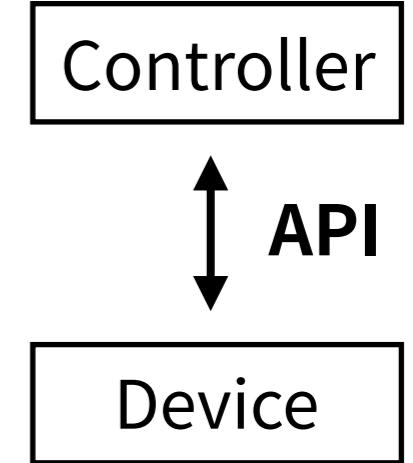
[#] 株式会社 ボスコ・テクノロジーズ

研究背景 (1/2)

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

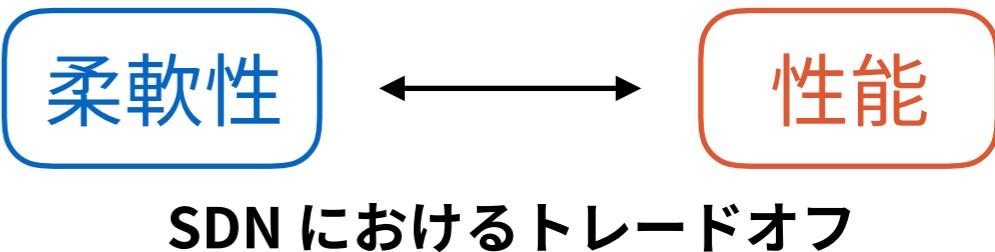
■ Software-Defined Networking (SDN)

- ▶ API で制御可能なネットワーク構造
 - フォワーディングルール設定による経路制御



■ OpenFlow

- ▶ OpenFlow スイッチの性能限界 [1]
 - ルール更新性能 : 1000 rules/s
 - ルール容量 : 10K ~ 50K
- ▶ SDN における大量フローの管理困難
 - 例 : アプリケーションフロー



[1] S.H. Yeganeh, A. Tootoonchian, and Y. Ganjali, “On scalability of software-defined networking,” IEEE Communications Magazine, vol.51, no.2, pp.136–141, Feb. 2013.

研究背景 (2/2)

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ SDN におけるアプリケーションフロー制御

- ▶ フロー集約によるフロー数削減
 - 帯域制約を満たす集約手法 [2][3]
 - ルール容量を満たす集約手法 [4]

- [2] F. Giroire, J. Moulierac, and T.K. Phan, “Optimizing rule placement in software-defined networks for energy-aware routing,” 2014 IEEE Global Communications Conference, pp.2523–2529, Dec. 2014.
- [3] X.N. Nguyen, D. Saucez, C. Barakat, and T. Turletti, “OFFICER: A general optimization framework for OpenFlow rule allocation and endpoint policy enforcement,” Proceedings - IEEE INFOCOM, vol.26, pp.478–486, 2015.
- [4] Y. Kanizo, D. Hay, and I. Keslassy, “Palette: Distributing tables in software-defined networks,” Proceedings - IEEE INFOCOM, pp.545–549, 2013.

研究背景 (2/2)

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ SDN におけるアプリケーションフロー制御

- ▶ フロー集約によるフロー数削減
 - 帯域制約を満たす集約手法 [2][3]
 - ルール容量を満たす集約手法 [4]
 - ▶ 許容遅延を考慮した集約法は存在しない
 - 許容遅延が小さい IoT / M2M フローの需要増
 - ルール更新性能限界からフロー数は最小化すべき
- ➡ 許容遅延満足かつフロー数最小化集約法を提案 [5]

提案手法の詳細な特性解析

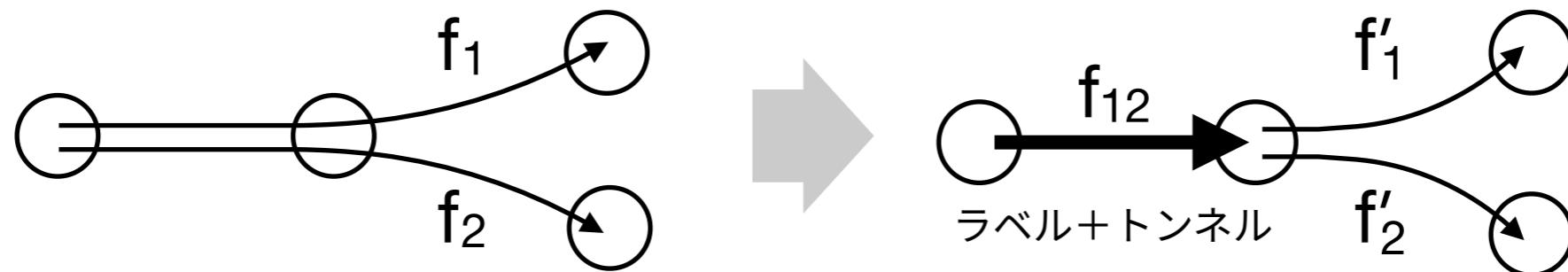
[5] 小杉山拓弥, 田辺和輝, 中山裕貴, 林經正, 山岡克式, “SDNにおけるリンク遅延を考慮したフロー集約法,” 信学技報 (ICM2016-34), vol.116, no.324, pp.49–54, Nov. 2016.

提案手法

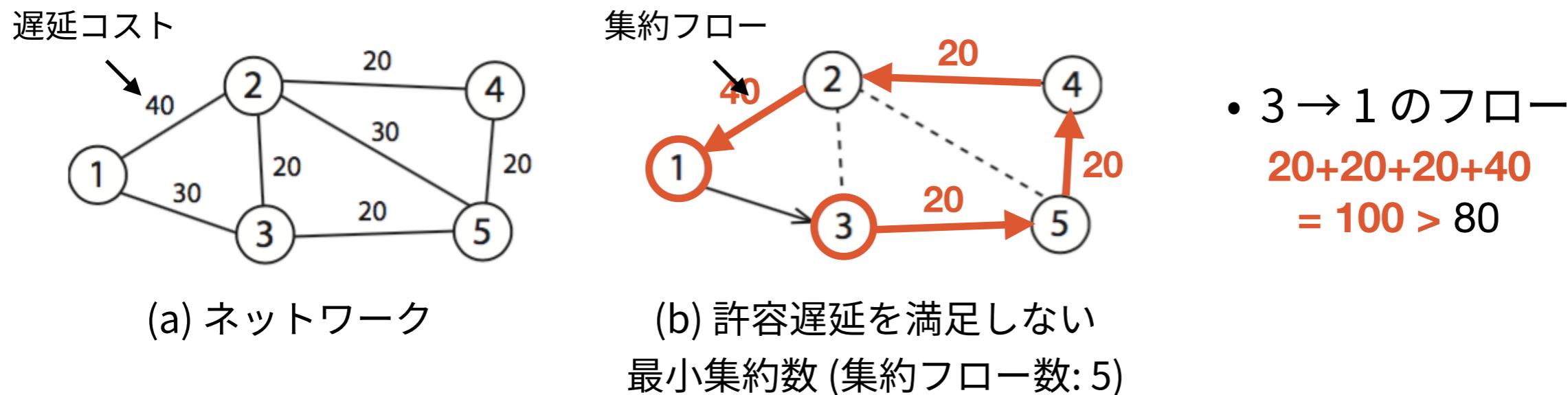
2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ フロー集約の考え方

- ▶ 同方向・同一区間のフローを1つとみなす



- ▶ 集約したフローで経路構成
 - 例：フルメッシュにフロー存在 (許容遅延 = 80)

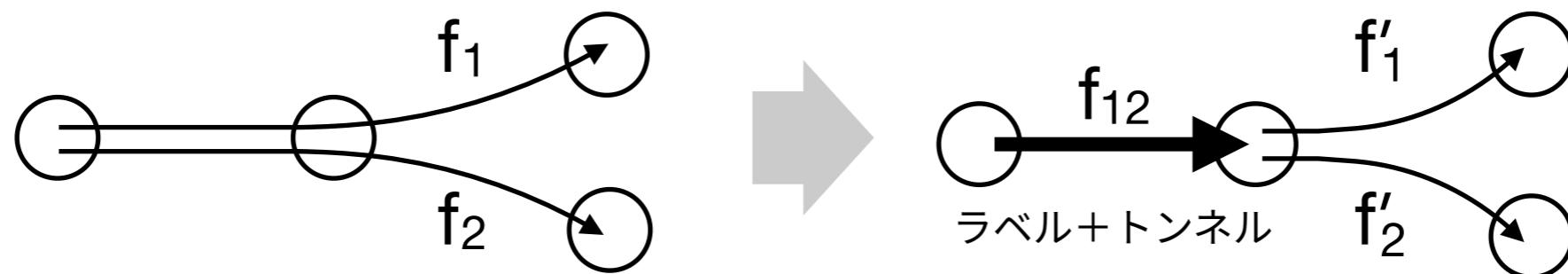


提案手法

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ フロー集約の考え方

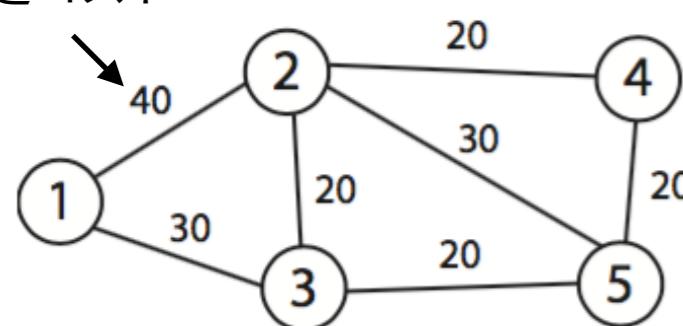
- ▶ 同方向・同一区間のフローを1つとみなす



- ▶ 集約したフローで経路構成

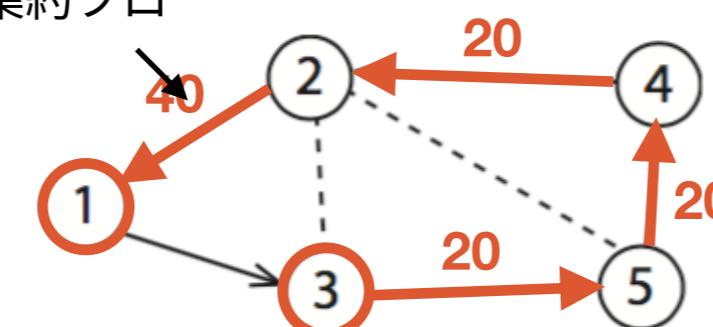
- 例：フルメッシュにフロー存在 (許容遅延 = 80)

遅延コスト

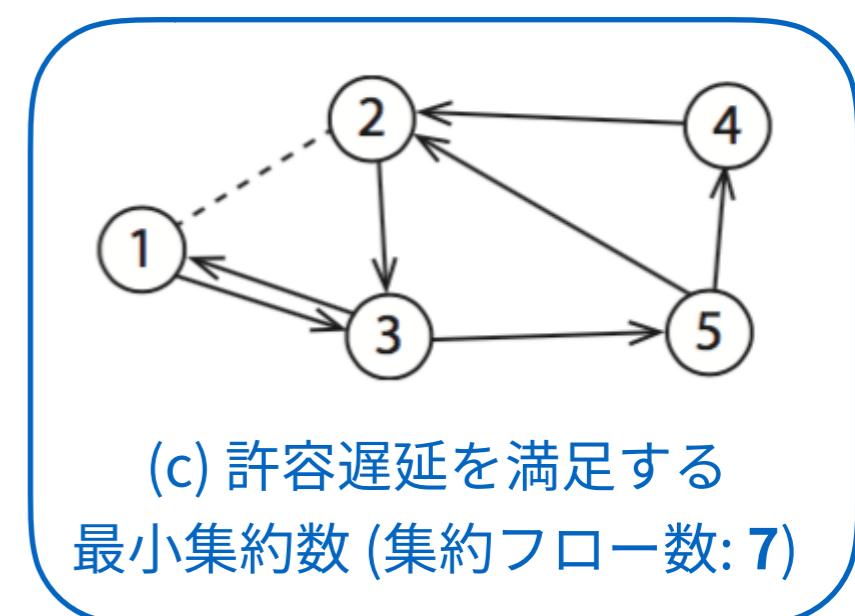


(a) ネットワーク

集約フロー



(b) 許容遅延を満足しない
最小集約数 (集約フロー数: 5)



問題設定

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ SDN を有向グラフ $G = (V, E)$ でモデル化

- ▶ フロー $f = (f_s, f_d) \in F$
 - 許容コスト $C_f \in \mathbb{R}^+$
- ▶ リンク $l = (u, v)(u, v \in V, u \neq v)$
 - リンクコスト $C_{(u,v)} = C_{(v,u)} \in \mathbb{R}^+$
- ▶ 処理遅延は十分小さく, リンク帯域は十分大きい

■ 許容コスト満足かつフロー到達制約下フロー数最小化集約問題は NP困難 [5]

➡ 準最適なヒューリスティクスを考察

アルゴリズム

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ 全体の流れ

1. フローを (許容コスト – 最短コスト) で昇順ソート : F_s

経路変更の自由度

2. F_s の先頭からフロー f を取り出す

3. フロー構築

- ・ **最良優先探索**で既存フローを最大回数利用する f の経路設定

4. フロー集約

- ・ F_s 中で既存フロー利用で経路設定可能なフロー削除

5. F_s が空になるまで 2. に戻る

評価方法 (1/2)

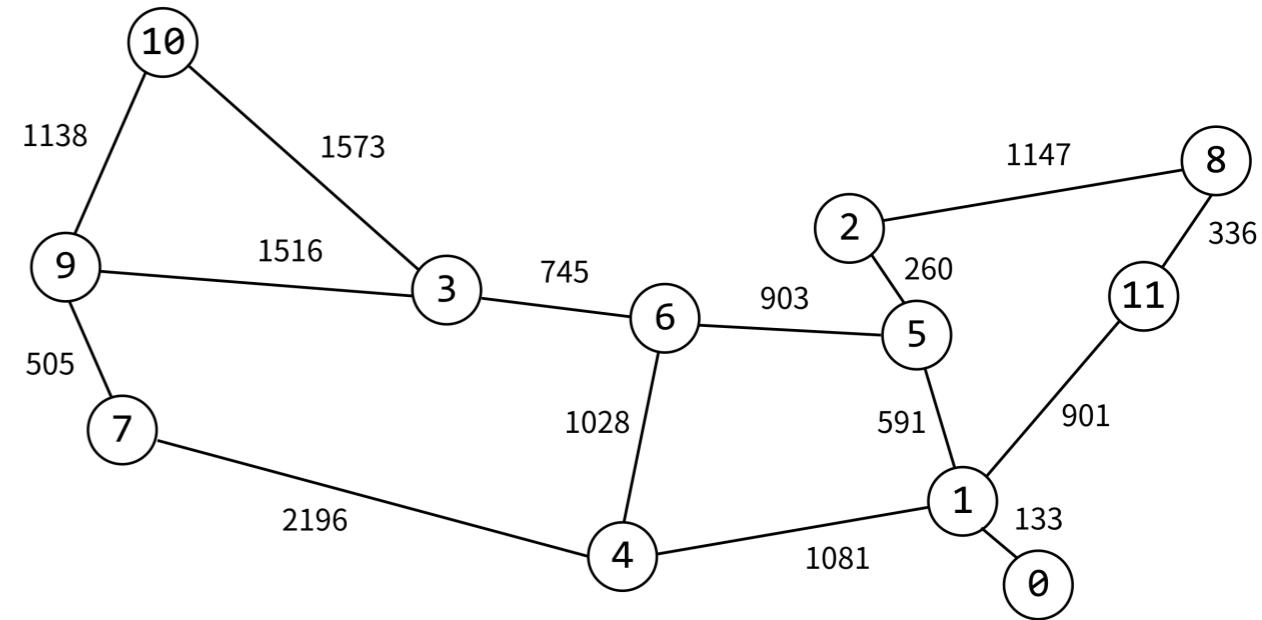
2017-03-03 IN研究会

■ シミュレーション

- ▶ 比較手法：最短コストルーティング + フロー集約
 - ▶ 評価指標：集約フロー数

■ 対象ネットワーク

- ▶ 重み付き連結グラフ
 - Abilene [6]
 - 平均許容遅延 936.87
 - ER / scale-free (ツール [7] で生成)
 - ex) ER (50, 4.04) : ER モデル, 50 ノード, 平均次数 4.04



Abilene (US backbone network) [6]

[6] C.Benhamed, S. Mekaoui, and K.Ghoumid, "Large-Scale IP Network Data Analysis for Anomalies Detection thanks to SVM" International Journal of Design & Nature and Ecodynamics 11(3), pp.376-386, July 2016

[7] L. Saino, C. Cocora, and G. Pavlou, "A toolchain for simplifying network simulation setup," Proceedings of the 6th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques, pp.82–91, SimuTools '13, 2013.

評価方法 (2/2)

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ 特性解析

1. 最適解との比較
2. フロー数に関する集約特性
3. 許容遅延に関する集約特性
4. 平均次数に関する集約特性
5. 集約密度特性

■ 評価条件

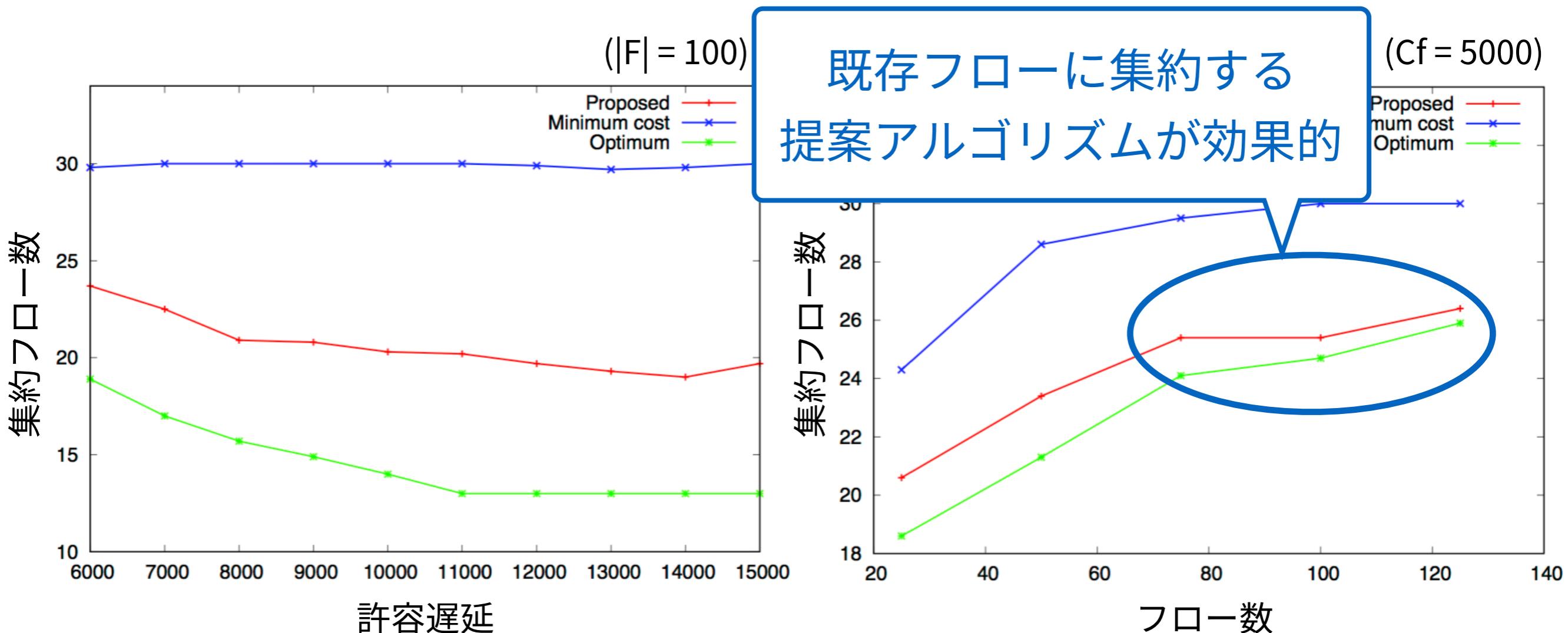
- ▶ 許容遅延 (C_f) は一定値
- ▶ フロー数 ($|F|$) だけ一様乱数でフローを生成 (重複なし)

特性解析 (1/5)

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ 最適解との比較 (Abilene)

- ▶ 許容遅延・フロー数増加に対し提案手法が比較手法より集約効果大

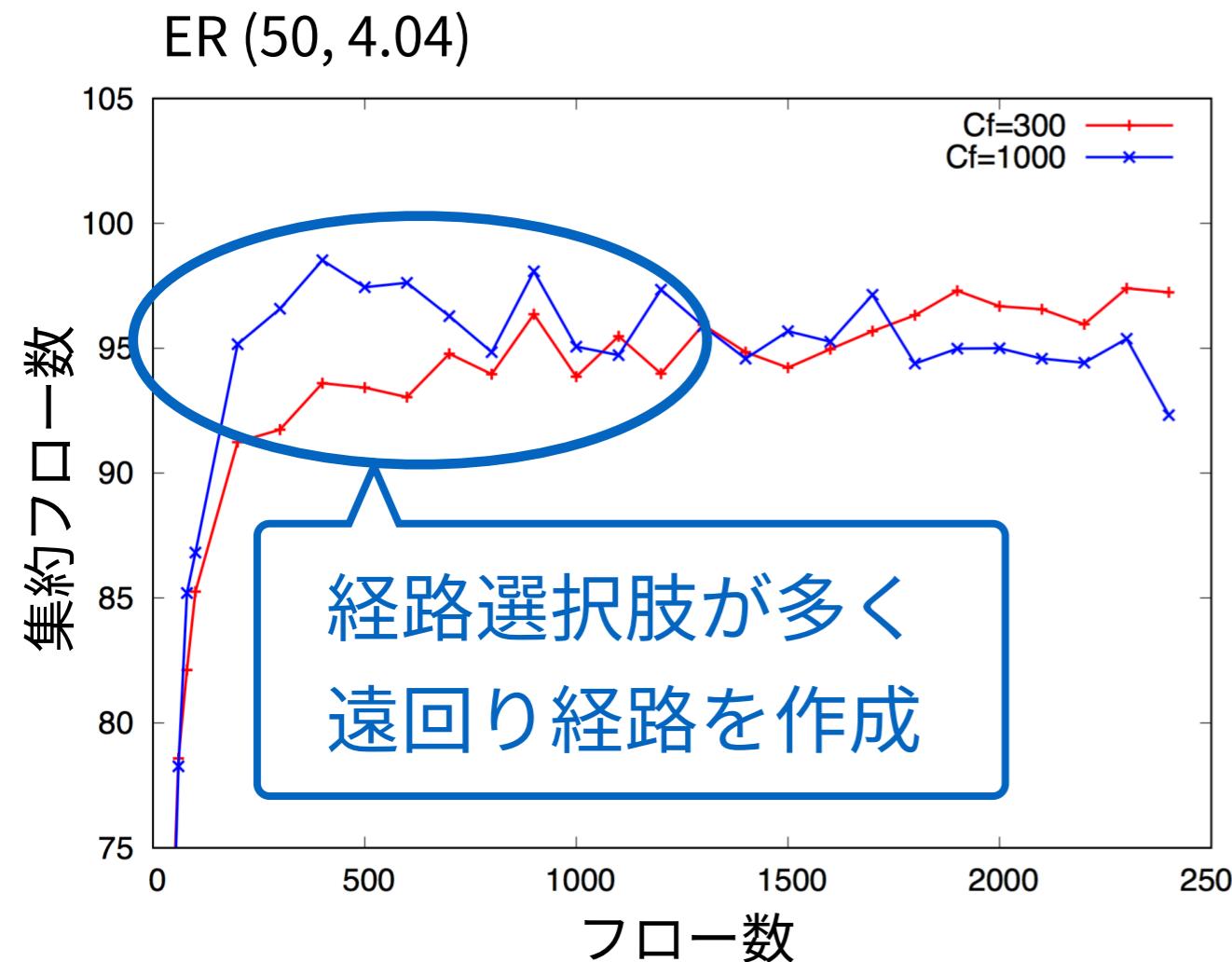


特性解析 (2/5)

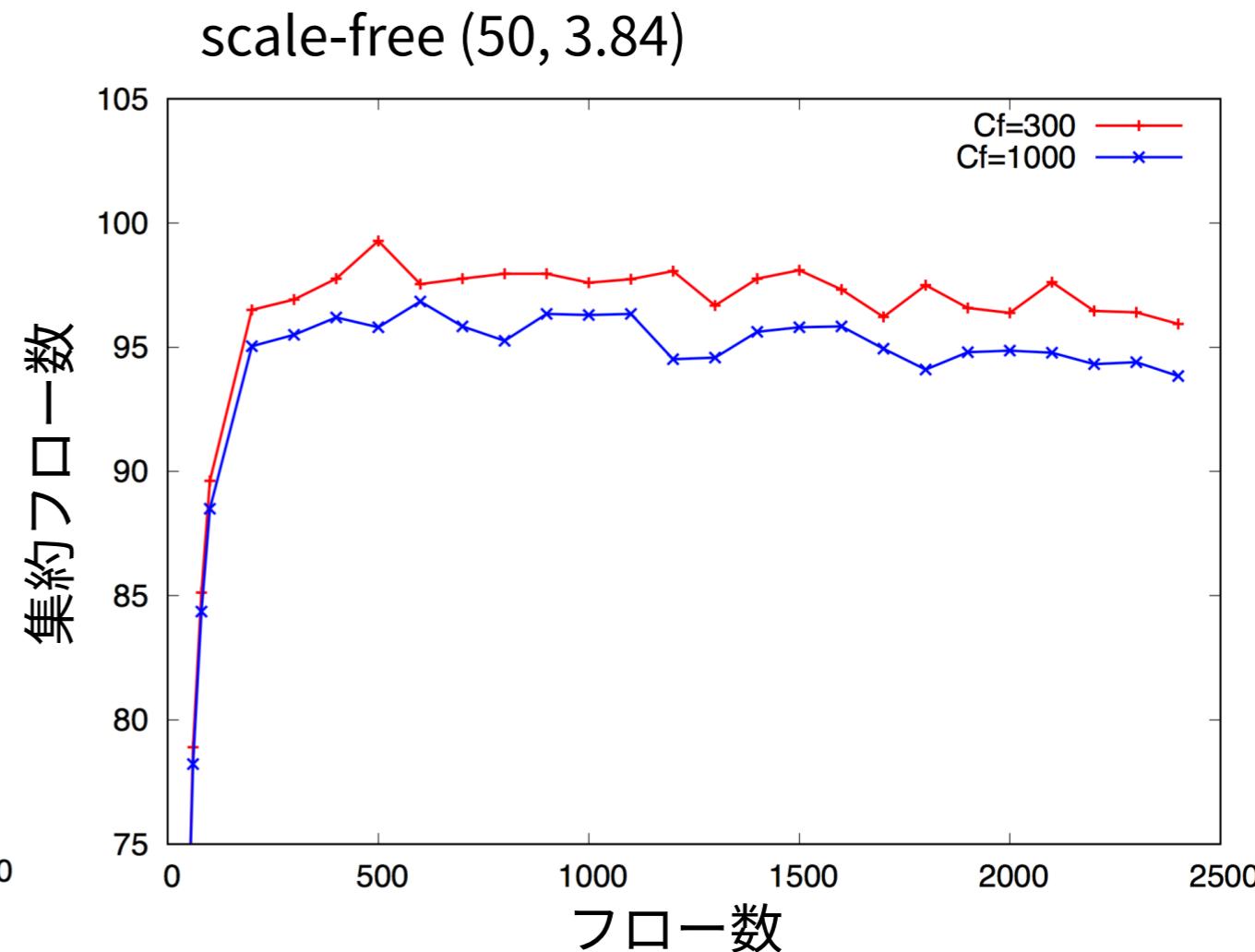
2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ フロー数に関する集約特性

- リンク遅延 = {10,20,30,40,50}



経路選択肢が多く
遠回り経路を作成



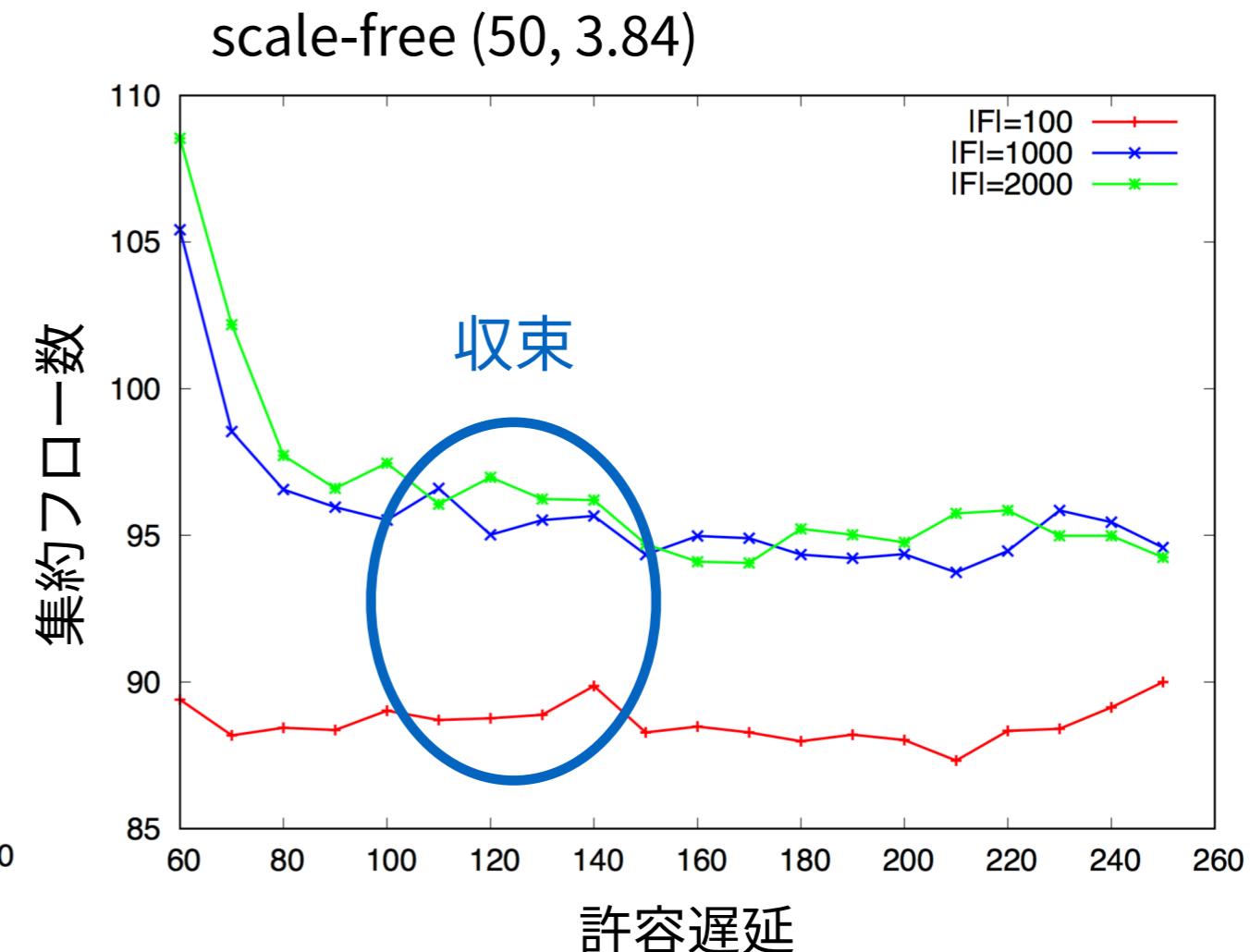
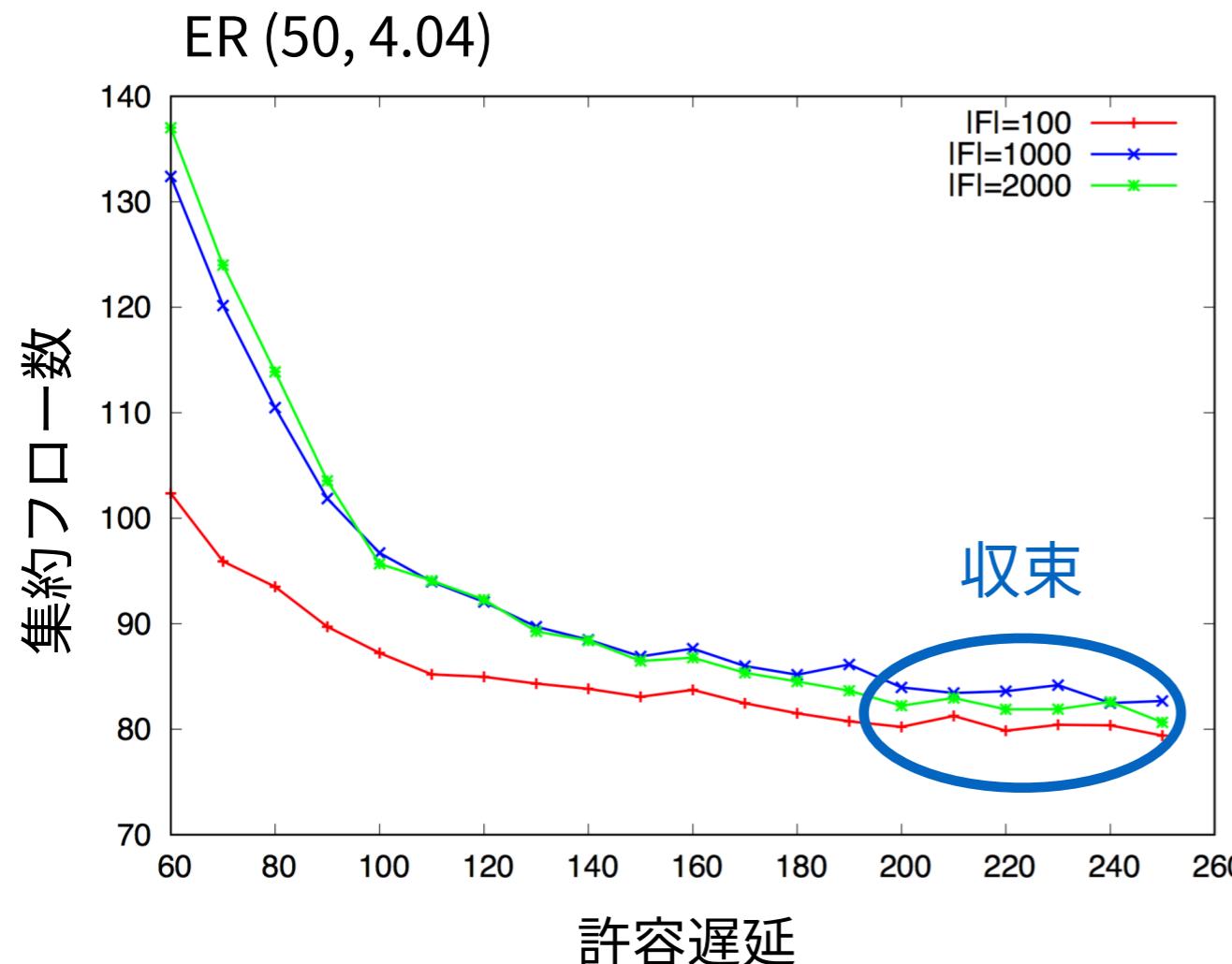
- ある程度のフロー数以降集約フロー数ほぼ一定
 - 構築済み既存フローのみで経路構成

特性解析 (3/5)

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ 許容遅延に関する集約特性

- ▶ リンク遅延 = 10



- ▶ ある許容遅延で収束
 - ・経路選択肢数の多いERモデルで効果的

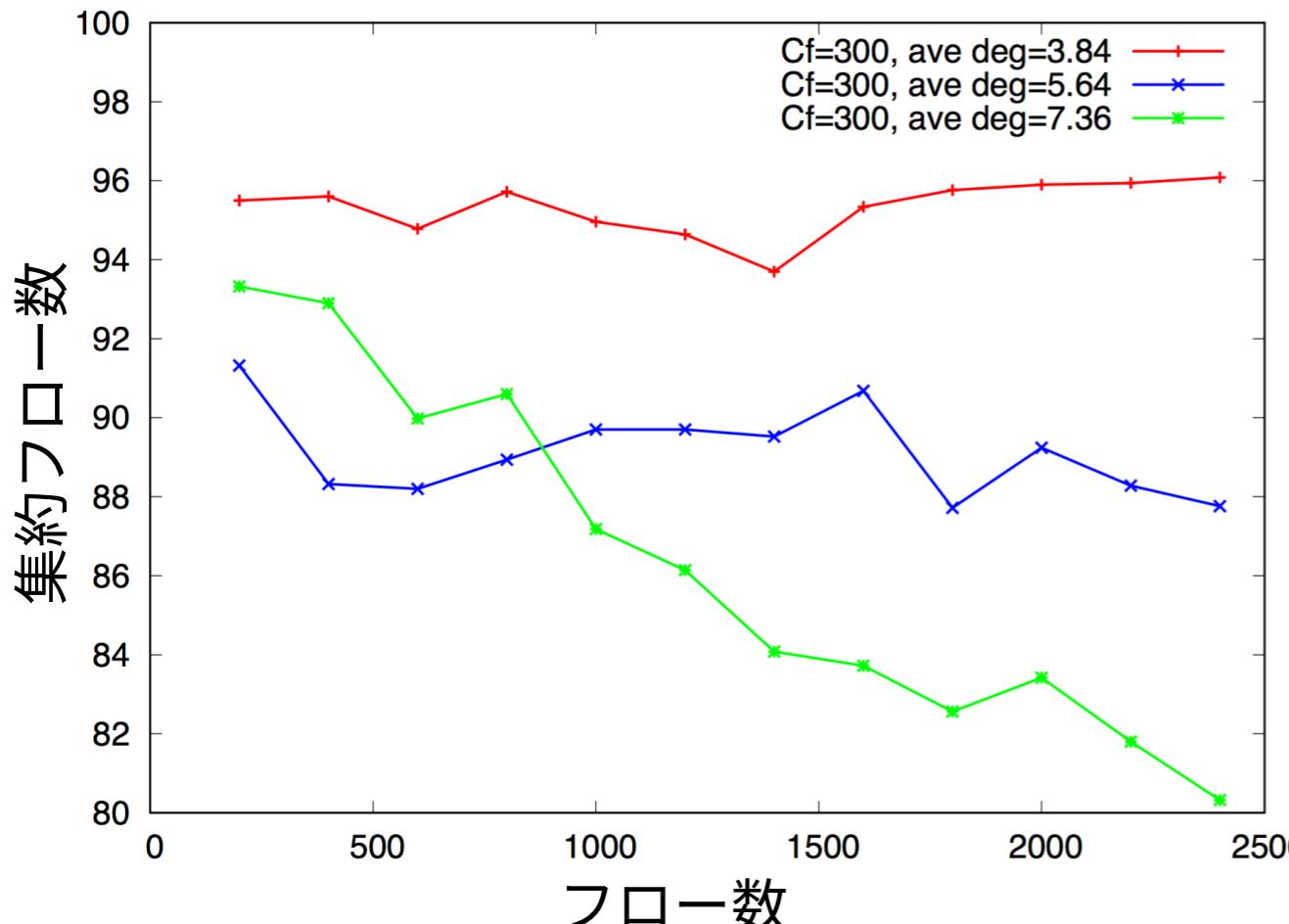
特性解析 (4/5)

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

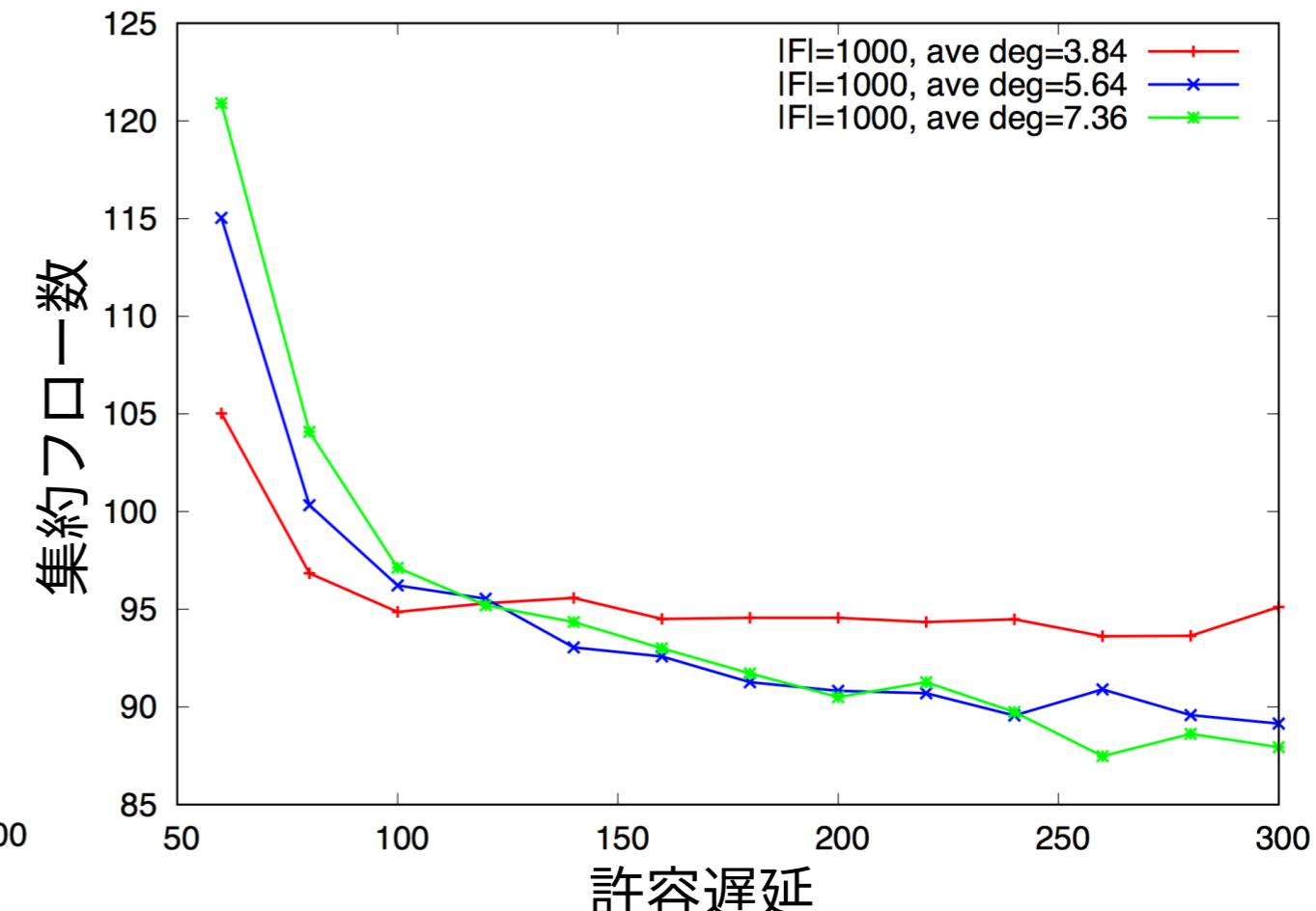
■ 平均次数に関する集約特性

▶ scale-free 50ノード

($C_f = 300$, リンク遅延 = {10,20,30,40,50})



($|F| = 1000$, リンク遅延 = 10)



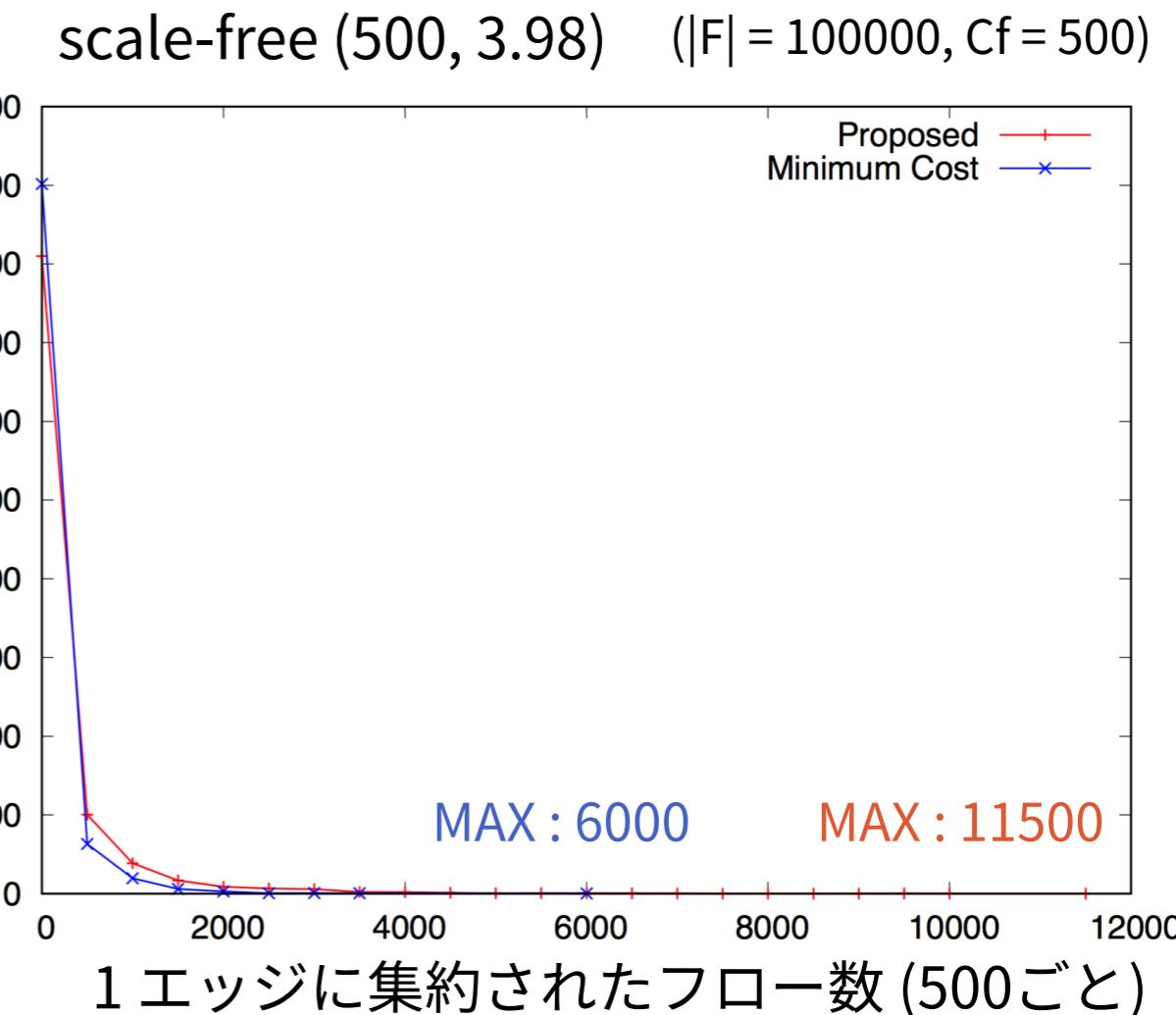
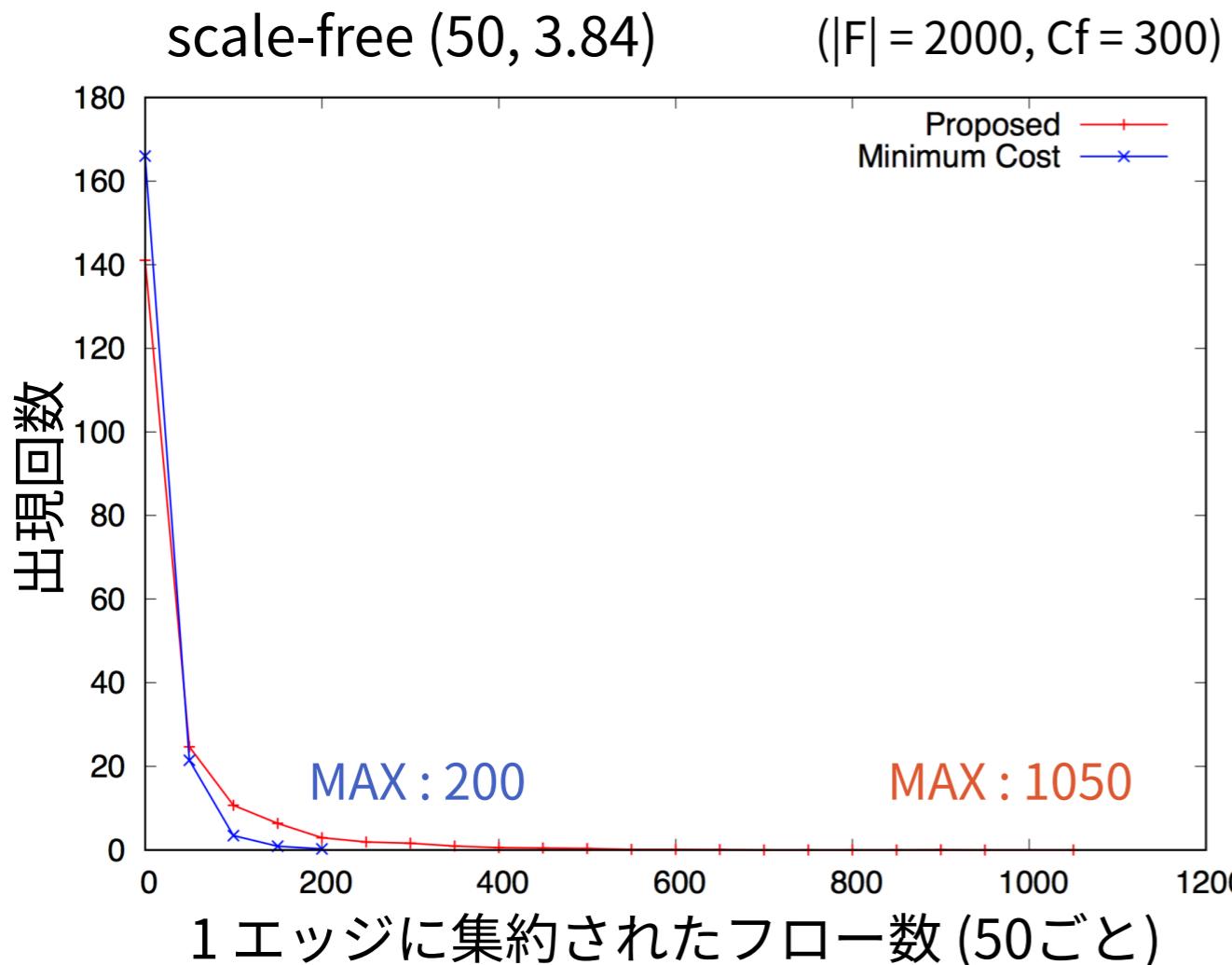
- ▶ 平均次数増で効果的
 - 経路選択肢増加でより多く既存フローに集約可能

特性解析 (5/5)

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ 集約密度特性

- ▶ 1 エッジに集約されたフロー数の分布



- ▶ 提案手法はより高集約密度エッジあり
 - ・頻度はロングテール傾向

考察

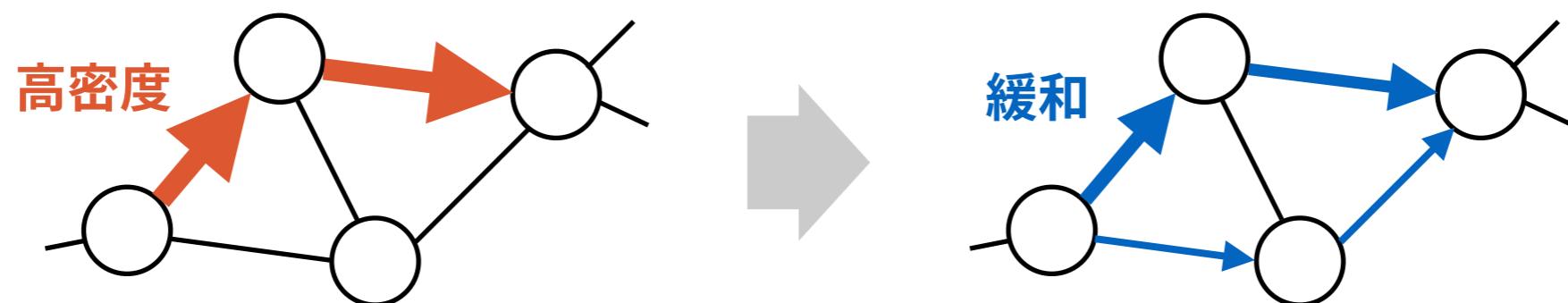
2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ 高集約密度エッジの存在

- ▶ 処理遅延増大
- ▶ 帯域圧迫

■ 集約数を制限

- ▶ 許容遅延を満たす範囲で負荷分散
- ▶ 集約効果は減少



まとめ

2017-03-03 IN研究会
“エンドツーエンド許容遅延制約環境でのSDNフロー集約特性”

■ エンドツーエンドのフローの許容遅延を満足かつ フロー数最小化集約法の特性解析

- ▶ 最適解との比較
- ▶ パラメータ変動による特性
- ▶ 集約密度特性

■ 今後の課題

- ▶ より現実に近いモデルの検討
 - 負荷分散のための集約数制約付加