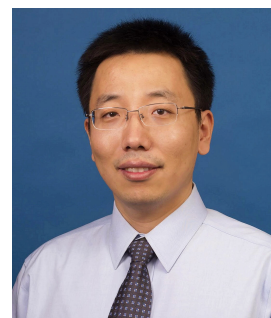


Empirical Study on Crash Recovery Bugs in Large- Scale Distributed Systems



Yu Gao, Wensheng Dou, Feng Qin, Chushu Gao, Dong Wang, Jun Wei, Ruirui Huang,
Li Zhou, Yongming Wu

ESEC/FSE 2018 Proceedings of the 2018 26th ACM Joint Meeting on European Software Engineering
Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering
Pages 539-550

発表者 吉富 楓雅

何の論文か？

- 大規模な分散システムにおけるノードクラッシュリカバリのバグに関する実証研究
- クラッシュが発生するとリカバリを行う
 - * しかし時に不適切なリカバリの実装によってバグが埋め込まれる
- **既存研究ではリカバリのバグは分類していない**
 - * **リカバリのバグを分類してみます**

大規模な分散システム

Google


Alibaba.com
Global trade starts here.™



検索

オンライン検索



ショッピング

大規模な分散システム

ノードクラッシュ

ノード(マシン)は障害によって使用できなくなる可能性がある

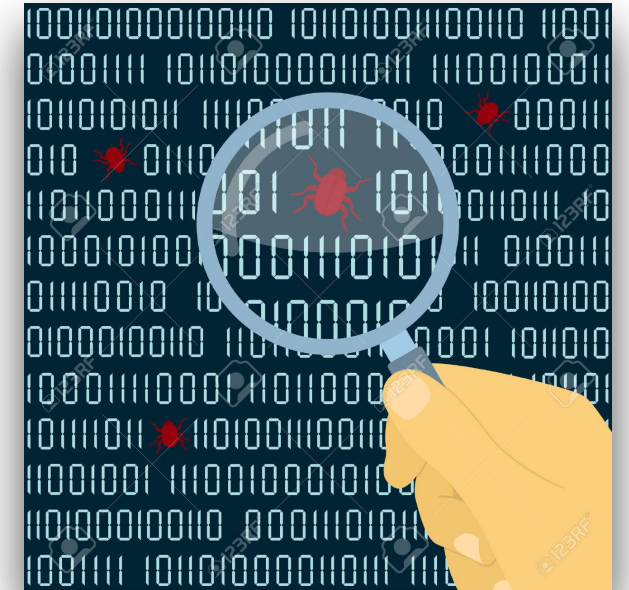
クラッシュ



停電



ハードウェア障害



ソフトウェア障害

分散システム内のノード数が増加するにつれて

ノード障害が発生しやすくなる

クラッシュリカバリ

- 開発者はノードクラッシュに対抗するために、分散システムに**クラッシュリカバリ**を導入
 - * HBASEのログ先行書き込み(WAL)
 - * Cassandraのヒントドハンドオフ
- しかし、分散システムでは**クラッシュリカバリ**を使用しても依然としてノードクラッシュの処理は困難
 - * **ノードのクラッシュはいつでも予想外に発生する**
 - * **全てのクラッシュのシナリオを熟考し、対応するクラッシュリカバリを実装することは不可能**

不適切なリカバリの実装

- 不適切なクラッシュリカバリの実装はバグを発生させる可能性がある

- * クラッシュリカバリの研究を行う必要がある

- 既存研究の問題点



- * **集中システムに関する研究が多い**

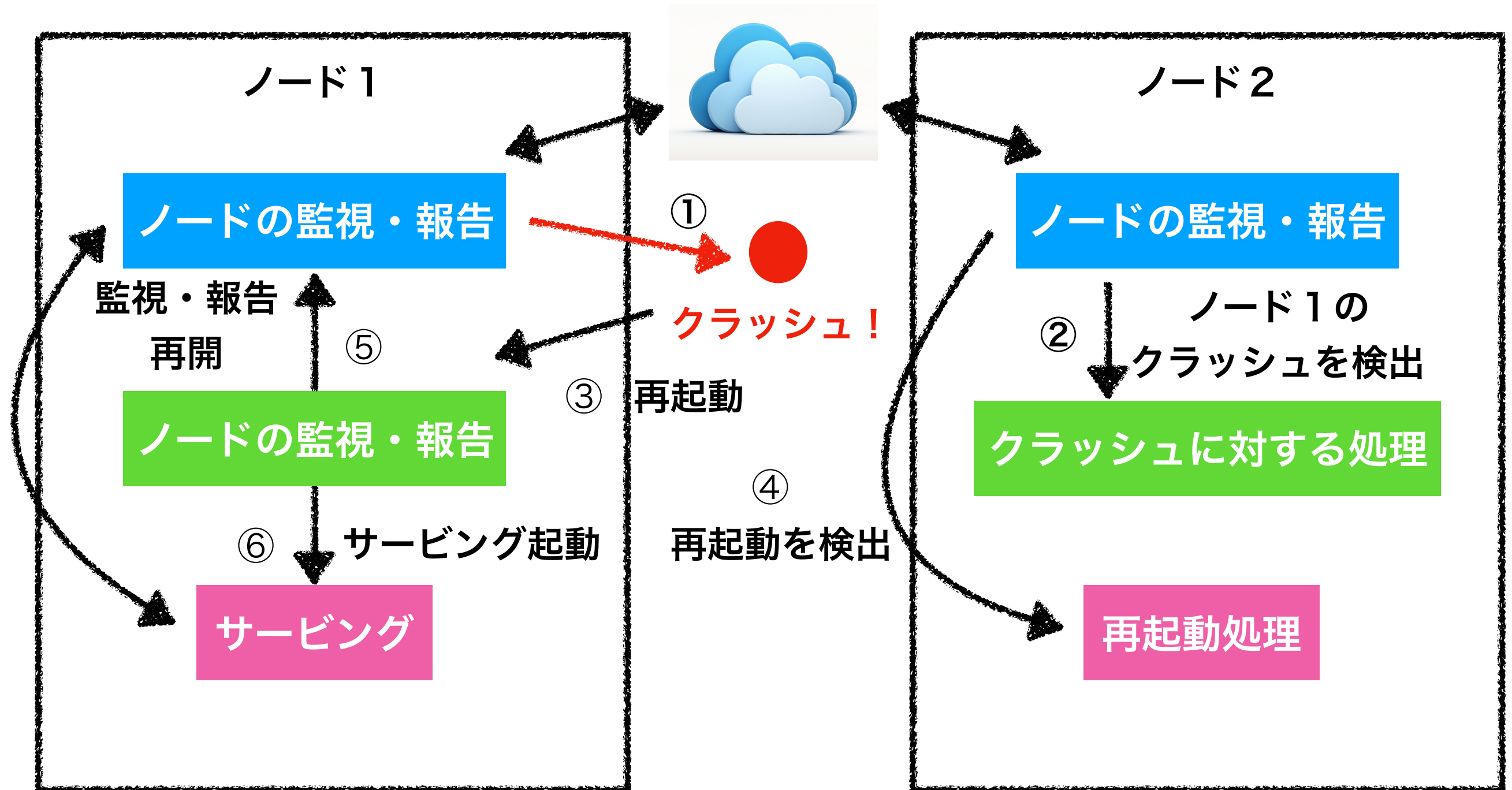


- * **クラッシュリカバリの不適切な実装で発生するバグに、どのようなパターンがあるかは研究されていない**

リサーチクエストション

- RQ 1 : クラッシュリカバリのバグの根本原因は何か？
- RQ 2 : クラッシュリカバリのバグはどのように発生するのか？
- RQ 3 : クラッシュリカバリのバグはどのような影響を及ぼすのか？
- RQ 4 : 開発者はクラッシュリカバリのバグをどのように修正しているのか？

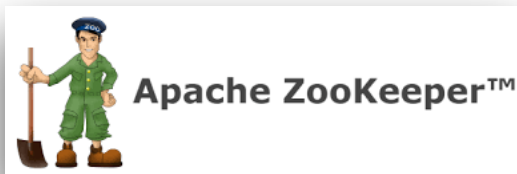
クラッシュリカバリのメカニズム



実証研究の対象

- 分散システムのクラッシュリカバリのバグを，OSSの4プロジェクトを対象として検証

System	Domain	Architecture	# of bugs
ZooKeeper	Coordination	Master/slave based on leader election	22
Hadoop MapReduce	Computing framework	Master/slave	22
Cassandra	Storage	Peer-to-peer	27
HBase	Storage	Master/slave	32
Total	-	-	103



参考：各プロジェクトの概要

プロジェクト	概要
ZooKeeper	分散アプリケーションを構築するための協調サービス
Hadoop Map/Reduce	Hadoop状に構築された分散処理のフレームワーク
Cassandra	列指向・行指向を複合した分散データベース管理システム
HBase	非リレーショナル型分散ファイルシステム

クラッシュリカバリのバグの収集と分析

- クラウドバグ管理データベースCBS[1]を利用
 - * バグレポートにおけるキーワードでクラッシュリカバリのバグを探す
 - ▶ 例：crash, kill, fail, stop, shutdown, reboot
 - ▶ プロジェクト毎のキーワードも使用
 - ◆ Cassandraのヒントドハンドオフなど
- クラッシュリカバリのバグに対するコメントやパッチ, ソースコードに従って分析

[1]Haryadi S. Gunawi, Mingzhe Hao, Tanakorn Leesatapornwongsa, Tiratat Patana-anake, Thanh Do, Jeffry Adityatama, Kurnia J. Eliazar, Agung Laksono, Jeffrey F. Lukman, Vincentius Martin, and Anang D. Satria. 2014. What Bugs Live in the Cloud? A Study of 3000+ Issues in Cloud Systems. In Proceedings of the ACM Symposium on Cloud Computing (SOCC). 1-14.

RQ1

Bug patterns		ZK	MR	CA	HB	Total
Backup	No backup	4	2	0	0	6
	Incorrect backup management	3	3	4	1	11
Crash/re-boot detection	No crash detection	0	5	2	7	14
	Untimely crash/re-boot detection	0	1	2	1	4
Incorrect state identification		5	4	5	3	17
Incorrect state recovery		5	4	11	9	29
Concurrency		5	3	3	11	22

クラッシュリカバリのバグの種類[2]

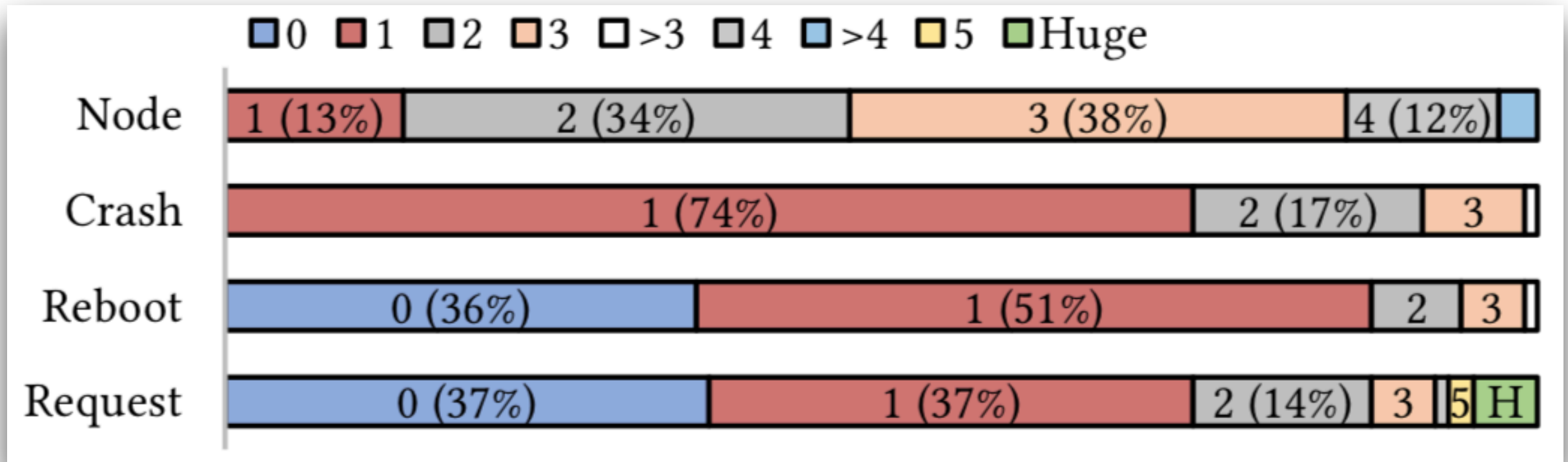
RQ 1

Components	ZK	MR	CA	HB	Total
Crash handling	2	6	3	24	35
Backing up	10	5	4	1	20
Local recovery	4	5	7	1	17
Crash detection	0	6	3	4	13
Remote synchronization	3	0	3	4	10
Reboot handling	3	1	6	0	10
Reboot detection	0	0	1	1	2

クラッシュリカバリのバグの発生段階

RQ 2

※数字は回数や台数を表す



- 3回以上のクラッシュではクラッシュリカバリのバグが発見されなかった
 - * 3回以下のクラッシュと1回の再起動が行われた場合でクラッシュリカバリのバグが多く発見された
- 各プロジェクトでノードやクラッシュの数以外の原因によるトリガーが存在する

RQ3

バグの影響	内容
利用できないノード	クラッシュリカバリのバグによって利用できないノードが発生する
データ関連のバグ	データの損失, データの不整合, 古いデータなどのデータ関連の障害が引き起こされる
パフォーマンスの低下	クラッシュからの回復時間の大幅な増加など, パフォーマンスの低下が発生する
操作の失敗	クラッシュリカバリのバグによって, 操作の失敗を発生させる

RQ 4

- ・クラッシュが発生した場合は各問題で生じるファイル間の矛盾を修正する
- ・クラッシュリカバリのバグを完全に修正することは困難である
 - * 不完全な修正が12%
 - * クラッシュが起こる可能性を減少させるのが限界

	Complete fixes	Incomplete fixes		
		Omit cases	Introduce new bugs	Reduce probability
ZK	17	2	2	1
MR	19	0	2	1
CA	24	0	0	3
HB	31	0	0	1
Total	91	2	4	6

まとめ

- 分散システムのクラッシュリカバリのバグは深刻な状態を招く可能性がある
- クラッシュリカバリのバグを分類
- クラッシュリカバリのバグを完全に修正するのは困難

所感

-  • 今回はクラッシュリカバリの分類をしたのみで、その他のリサーチクエストンに対してはあまり深入りしていなかった
-  • クラッシュリカバリのバグ修正に関しては、現場の人が知っていそうだから、さらに研究を進めてほしい