



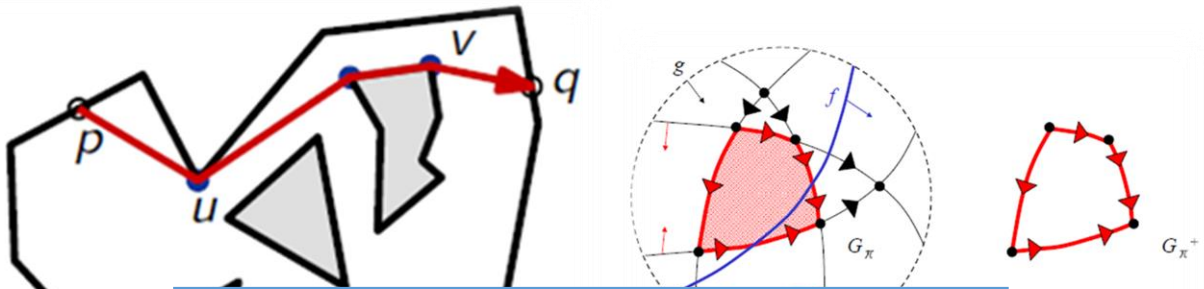
P ≠ NP問題,
進捗どうですか？



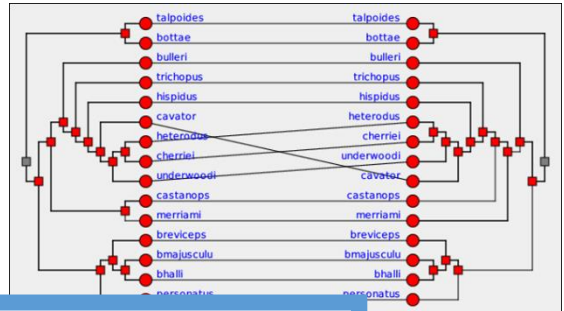
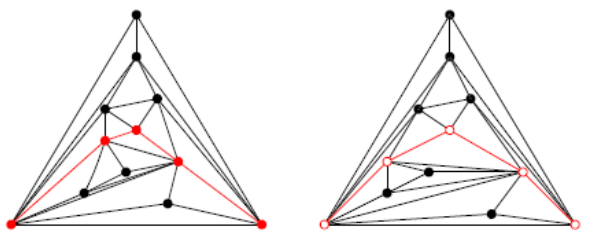
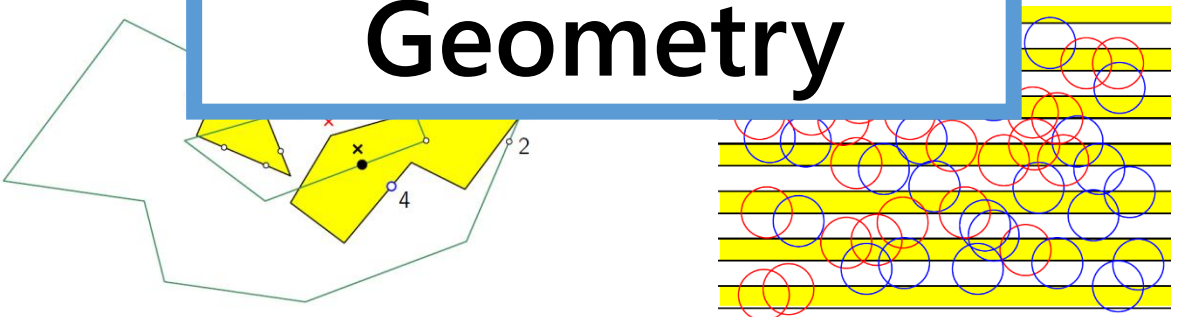
岡本 吉央 (おかもと よしお)
電気通信大学

okamotoy@uec.ac.jp

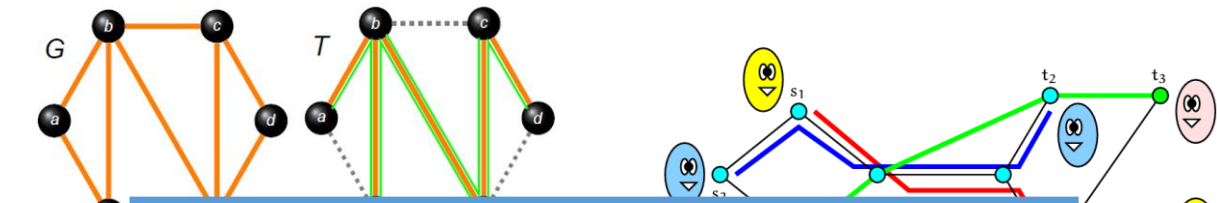
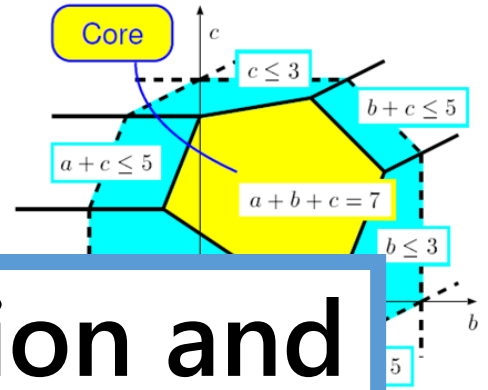
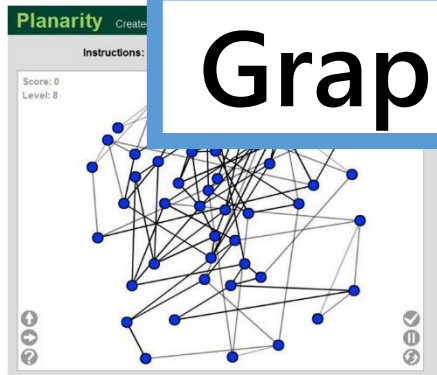
アルゴリズム分野



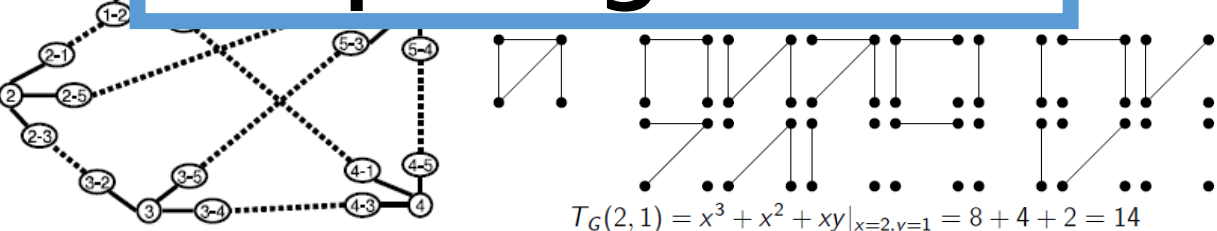
Computational Geometry



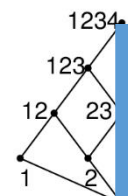
Graph Drawing



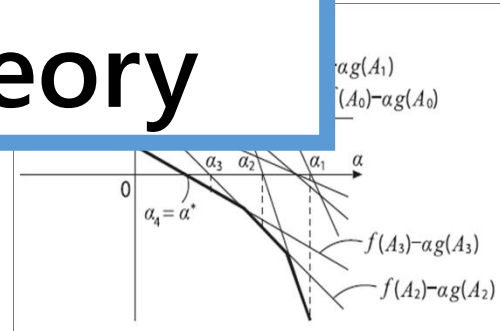
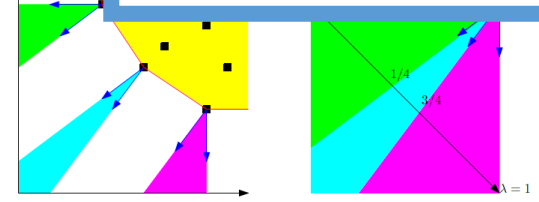
Graph Algorithms

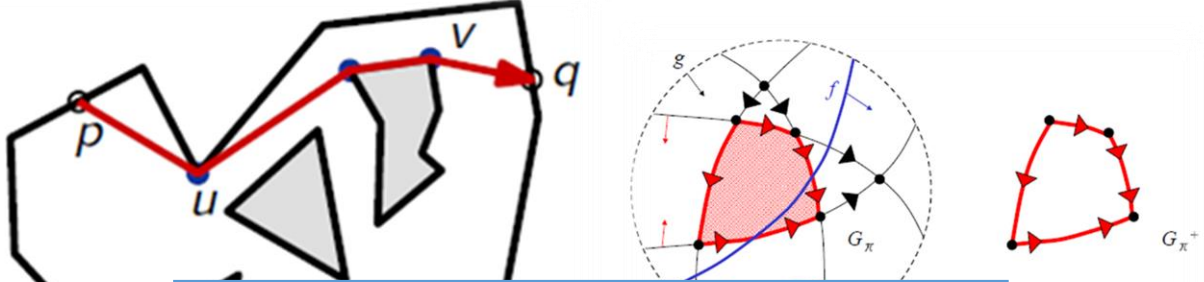


$$T_G(2, 1) = x^3 + x^2 + xy|_{x=2, y=1} = 8 + 4 + 2 = 14$$

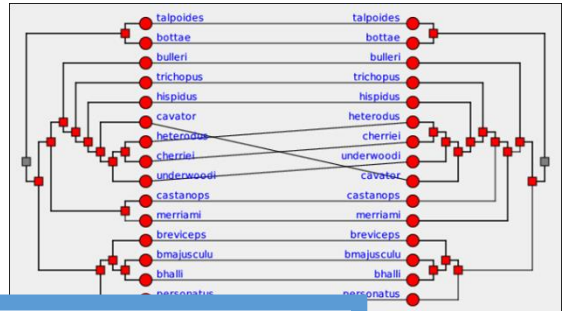
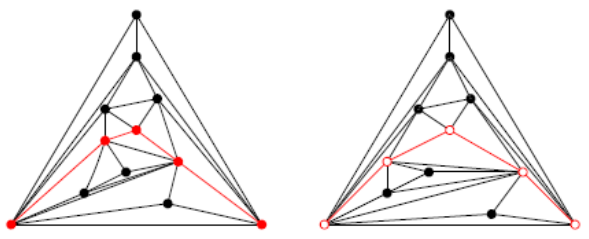


Optimization and Game Theory

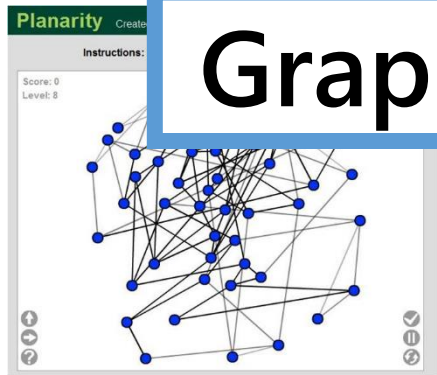




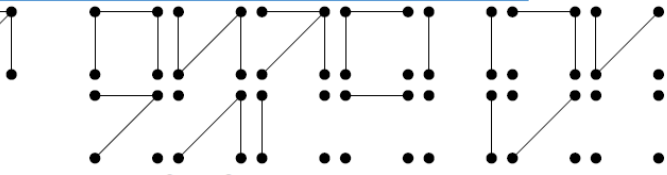
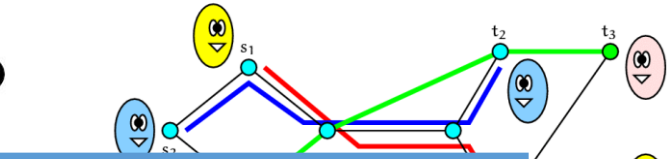
Computational Geometry



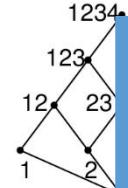
Graph Drawing



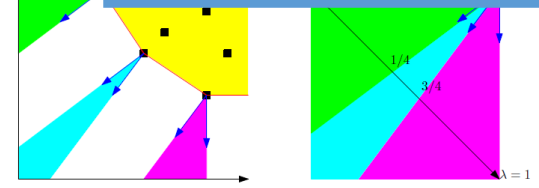
Algorithms



$$T_G(2, 1) = x^3 + x^2 + xy|_{x=2, y=1} = 8 + 4 + 2 = 14$$



Optimization Game Theory





P ≠ NP問題,
進捗どうですか？



岡本 吉央 (おかもと よしお)
電気通信大学

okamotoy@uec.ac.jp

アルゴリズム分野

P ≠ NP問題

次のどちらが正しいか？

P = NP

P ≠ NP

ポアンカレ予想

解決済 ('03)

$P \neq NP$ 問題

ナビエ・ストークス方程式

BSD予想

ヤン・ミルズ方程式と質量ギャップ

ホッジ予想

リーマン仮説



クレイ数学研究所

ミレニアム懸賞問題 ('00)

P ≠ NP問題

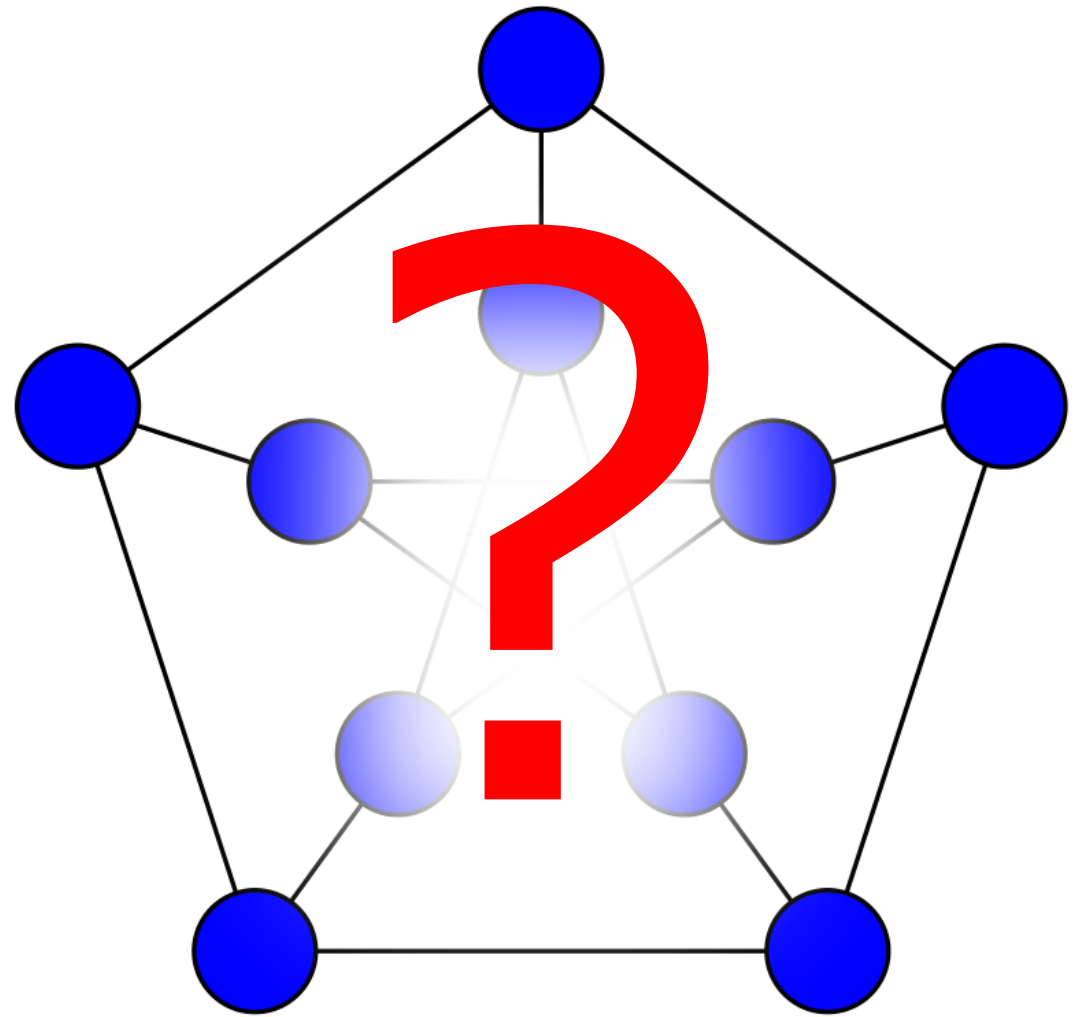
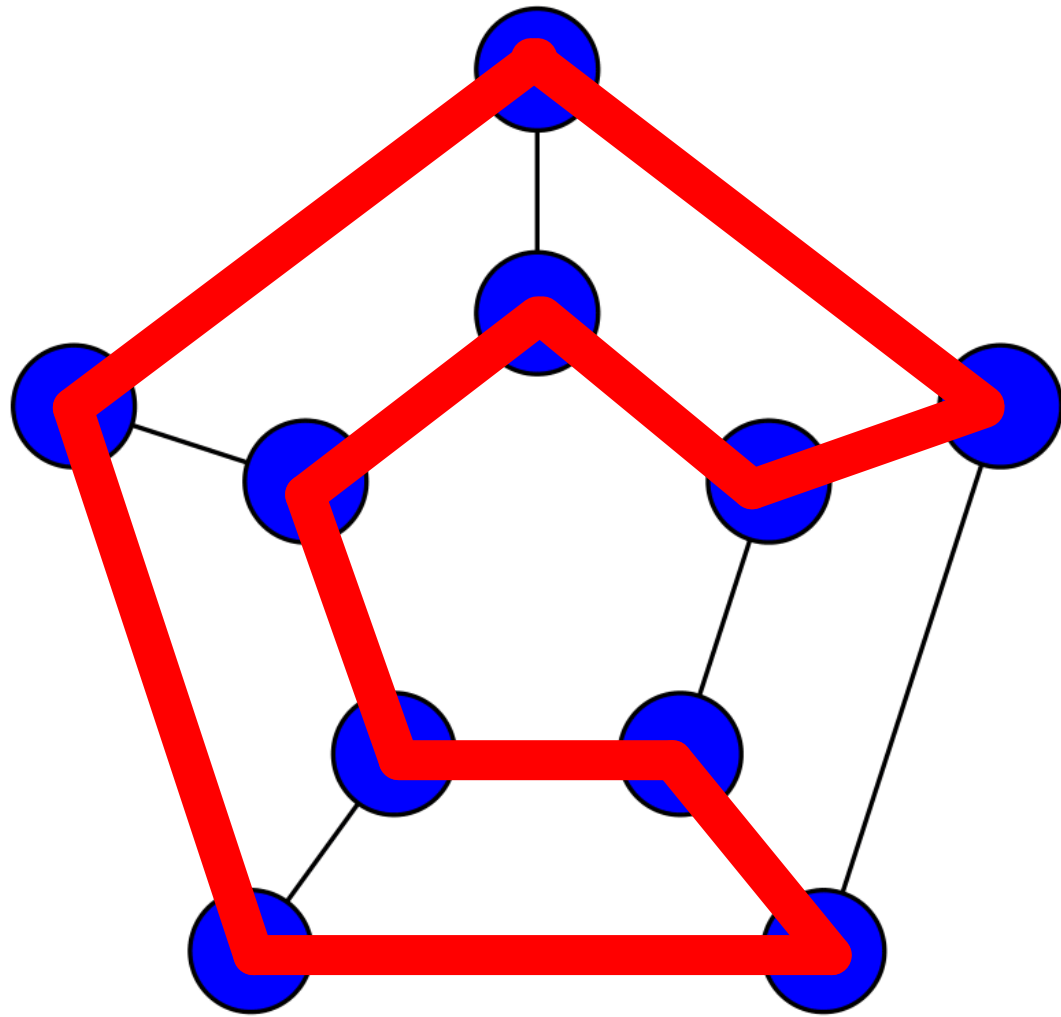
簡単

P = NP

どちらが正しいか？

難しそう

P ≠ NP

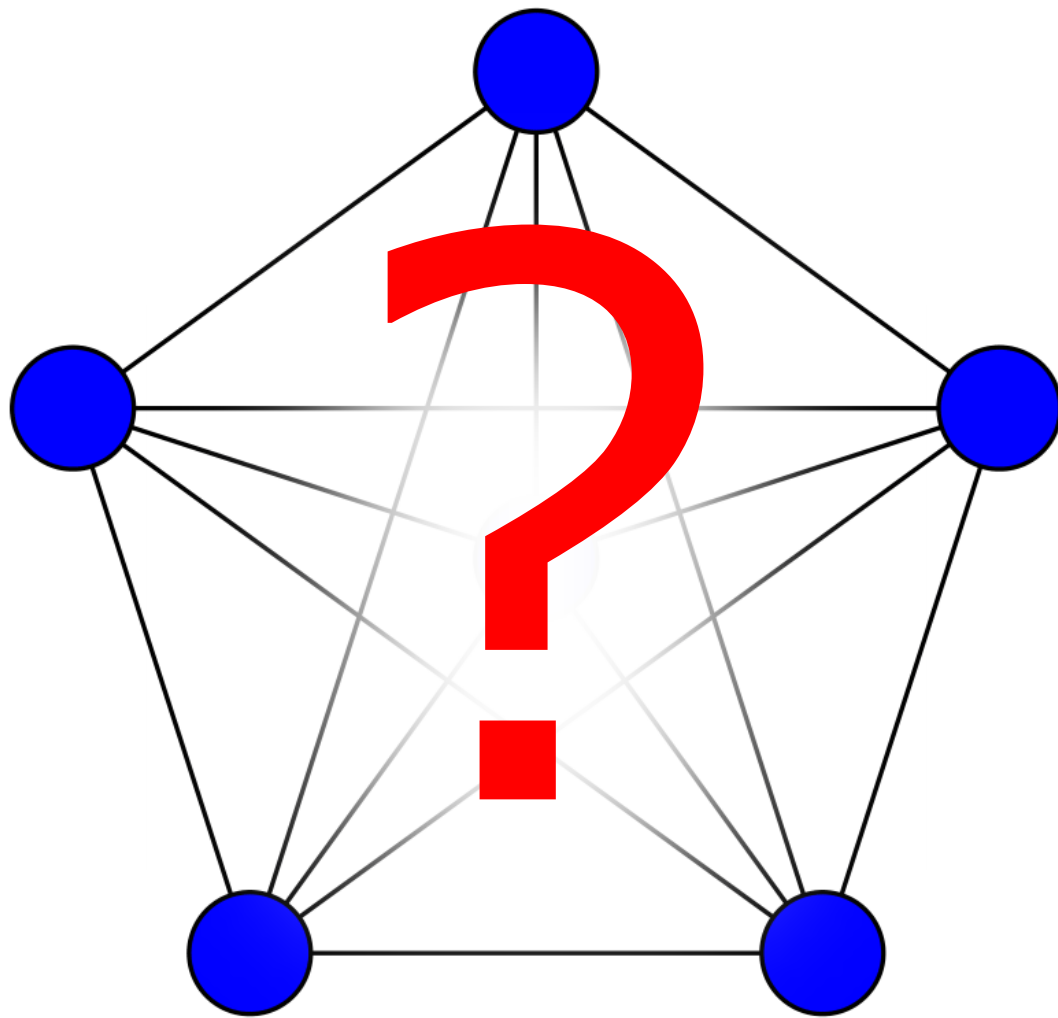
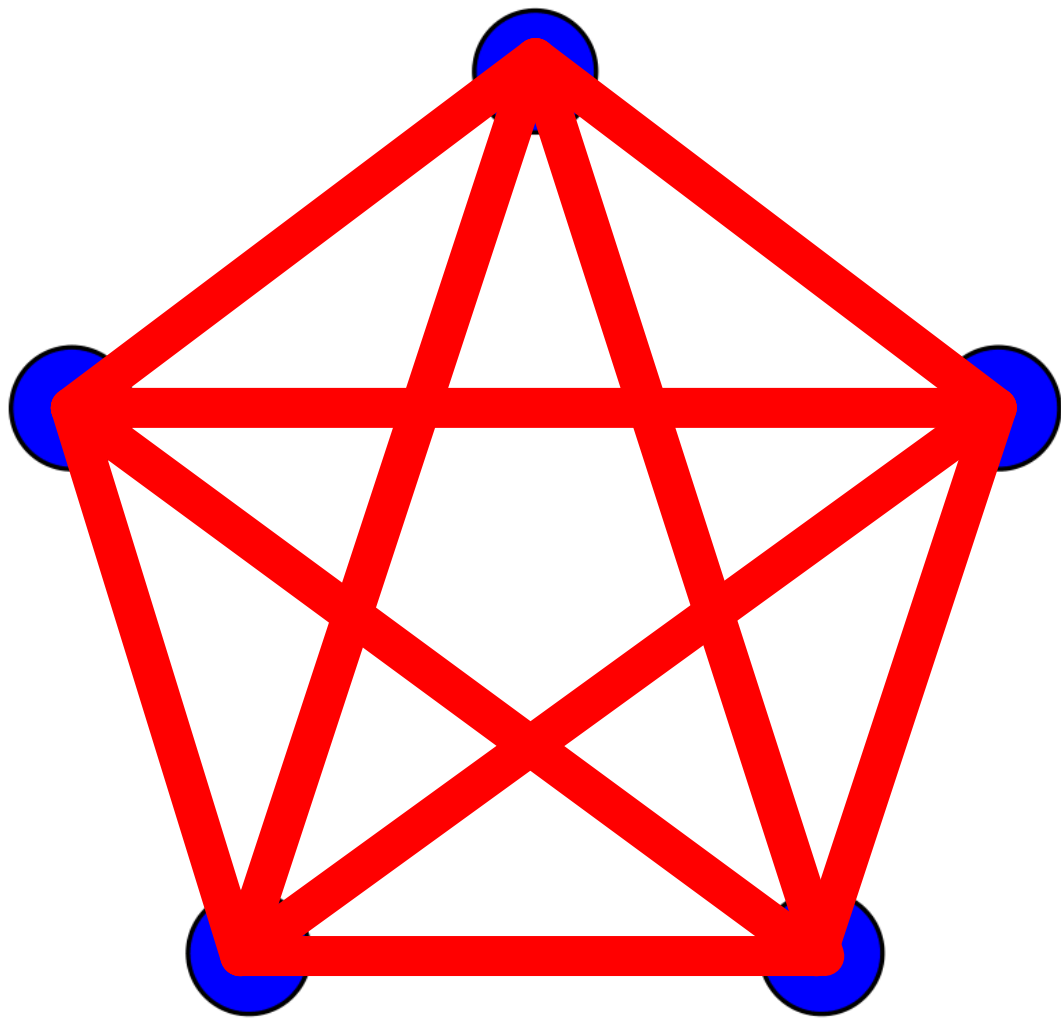


ハミルトン閉路, ありますか？

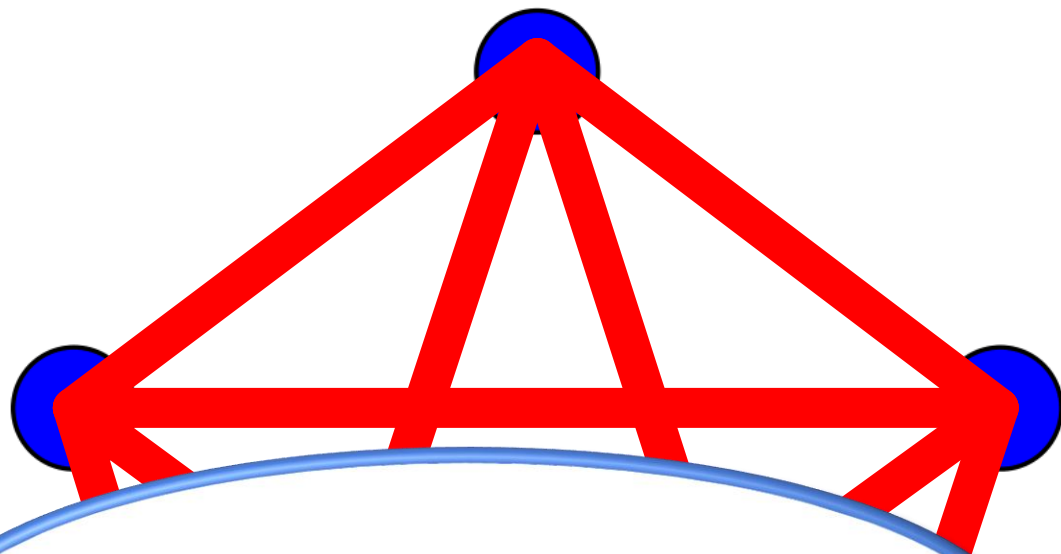
ハミルトン閉路問題は NP 問題

難しそう

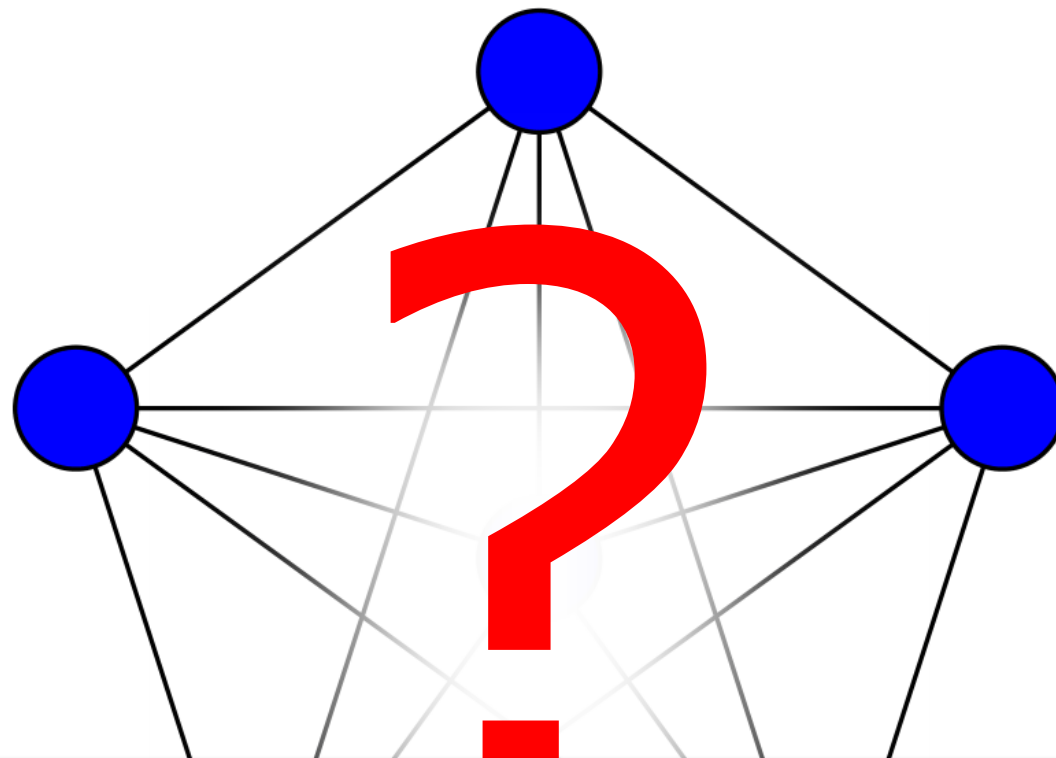
ハミルトン閉路, ありますか?



オイラー閉路, ありますか?



簡単



オイラー閉路問題は P 問題

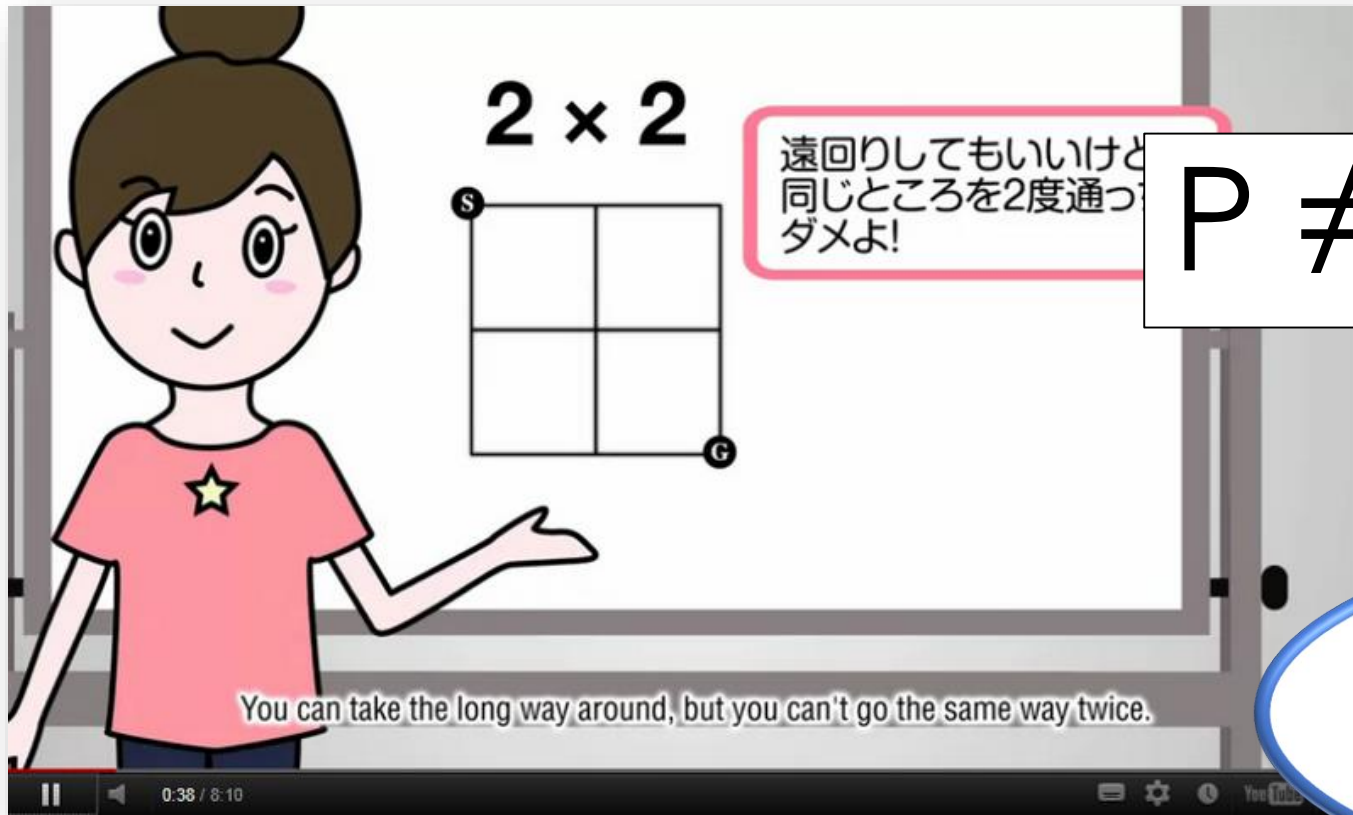
ハミルトン閉路問題は NP問題

オイラー閉路問題は P問題

P ≠ NP問題

この2つは同じぐらい簡単か？

オイラー閉路問題は P問題



P ≠ NP問題

『フカシギの数え方』
...ト！
計算の本質

<https://www.youtube.com/watch?v=Q4gTV4r0zRs>

難しい問題が実は簡単？

津波注意報
到達予想
10分程度

気象庁によりますと、現在の震源を特定する手法では、津波注意報を出すか判断するまでの数分間で詳細な分析を行うことが難しく、対応を検討し

社会への
インパクト

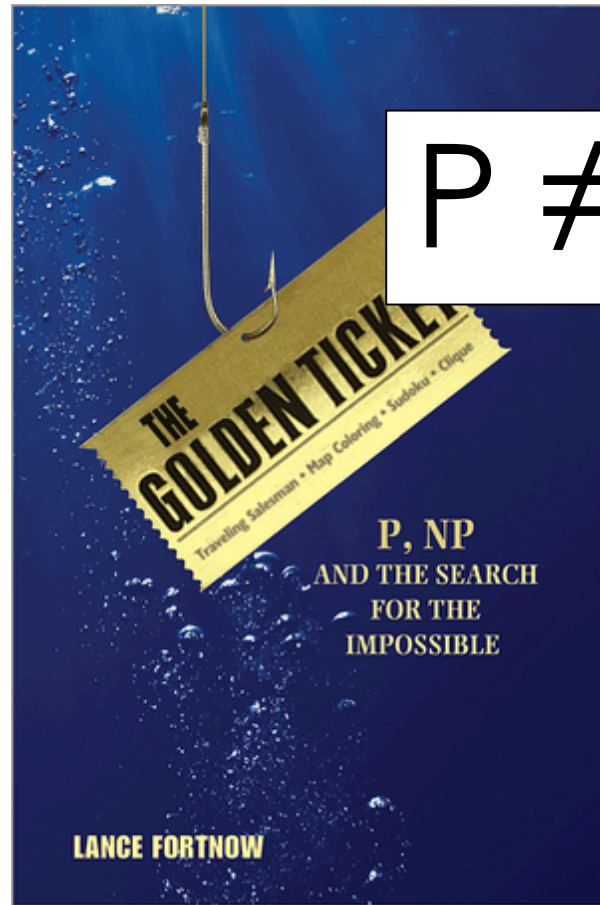
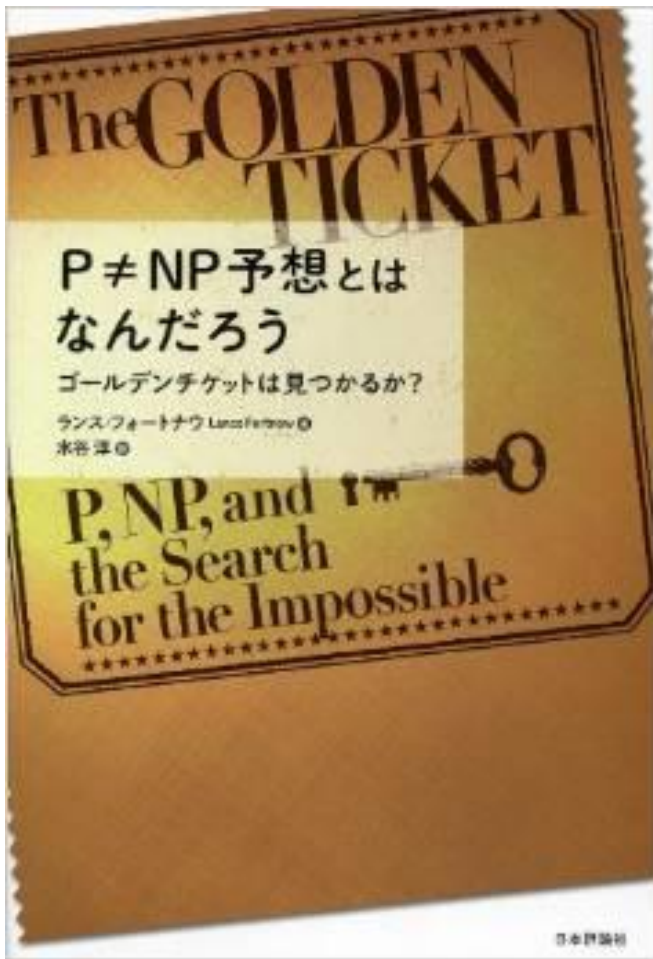
8時6分ごろ発生

×
誤

陸側近くに ▶

<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150218/k10015562981000.html>

P = NP なら劇的に世界が変わる？



P ≠ NP 問題



L. Fortnow

P = NP なら劇的に世界が変わる？

since '70s

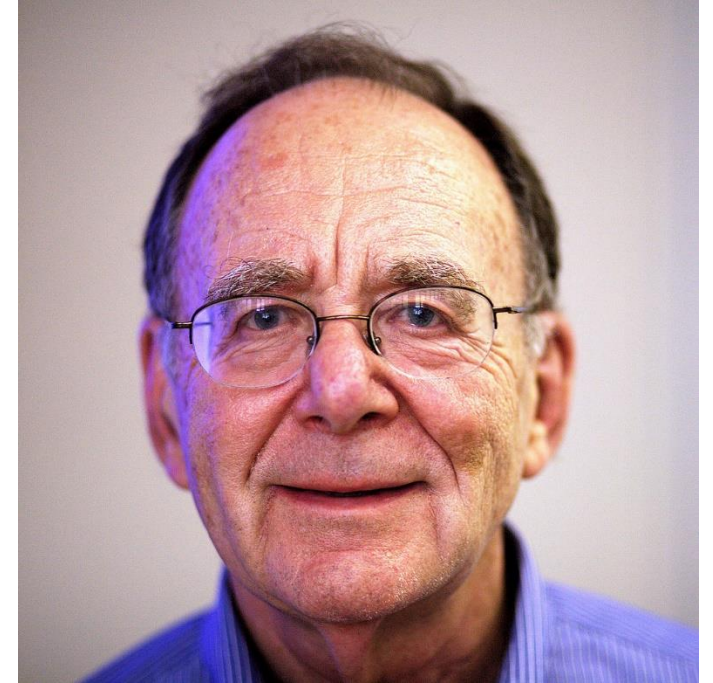
P \neq NP問題



Cook



Levin



Karp

P ≠ NP問題

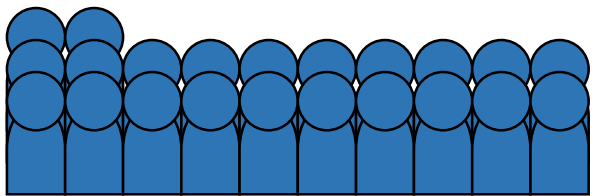
次のどちらが正しいか？

P = NP

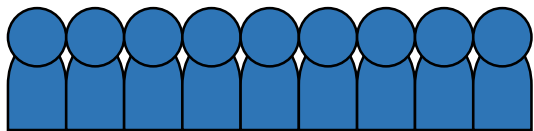
P ≠ NP

P =? NP Open Poll

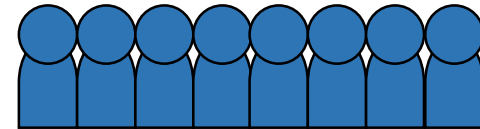
無回答



$P = NP$

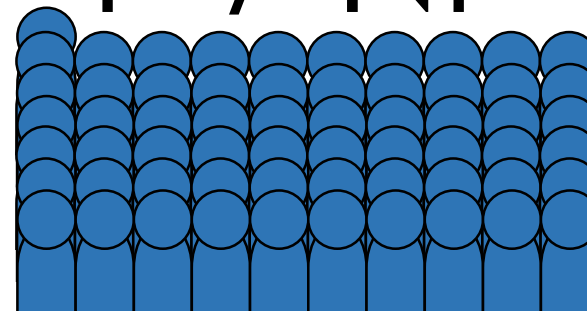


Gasarch '02



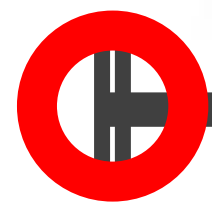
その他

$P \neq NP$





P ≠ NP問題,
進捗どうですか？



'70s

解決

P ≠ NP問題

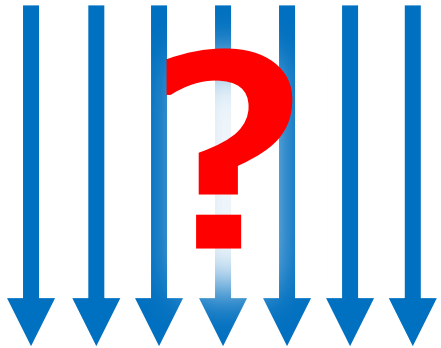
次のどちらが正しいか？

P = NP

P ≠ NP

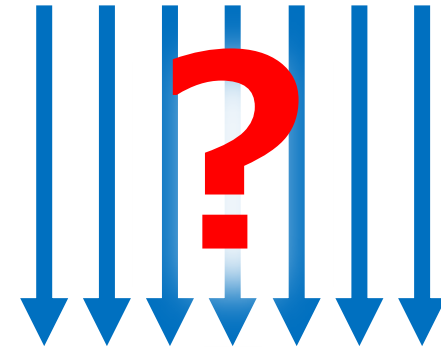
アルゴリズム
設計技法

計算量クラス
分離技法



$P = NP$

うまく
いかない



$P \neq NP$

開発

アルゴリズム
設計技法

計算量クラス
分離技法

うまく
いかない

$P = NP$

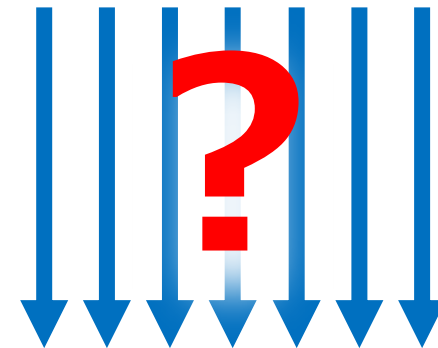
$P \neq NP$

解明

$P \neq NP$ 問題へのアプローチ

計算量クラス 分離技法

うまく
いかない



$P \neq NP$

計算量クラスの分離

技法の限界解明

例: $P \neq EXPTIME$

(Hartmanis, Stearns '65)

計算量クラスの分離

例: $P \neq EXPTIME$

(Hartmanis, Stearns '65)

技法の限界解明

相対化

(Baker, Gill, Solovay '75)

計算量クラスの変離

技法の限界説明

例: $P \neq EXPTIME$

(Hartmanis, Stearns '65)

相対化

(Baker, Gill, Solovay '75)

例: $AC^0 \neq NC^1$

(Furst, Saxe, Sipser '84)

計算量クラスの分離

例: $P \neq EXPTIME$

(Hartmanis, Stearns '65)

例: $AC^0 \neq NC^1$

(Furst, Saxe, Sipser '84)

技法の限界解明

相対化

(Baker, Gill, Solovay '75)

自然な証明

(Razborov, Rudich '97)

計算量クラスの変離

例: $P \neq EXPTIME$

(Hartmanis, Stearns '65)

例: $AC^0 \neq NC^1$

(Furst, Saxe, Sipser '84)

例: $PP \not\subseteq SIZE(n^k)$

(Vinodchandran '05)

技法の限界説明

相対化

(Baker, Gill, Solovay '75)

自然な証明

(Razborov, Rudich '97)

計算量クラスの分離

例: $P \neq EXPTIME$

(Hartmanis, Stearns '65)

例: $AC^0 \neq NC^1$

(Furst, Saxe, Sipser '84)

例: $PP \not\subseteq SIZE(n^k)$

(Vinodchandran '05)

技法の限界解明

相対化

(Baker, Gill, Solovay '75)

自然な証明

(Razborov, Rudich '97)

代数化

(Aaronson, Wigderson '09)

計算量クラスの変離

例: $P \neq EXPTIME$

(Hartmanis, Stearns '65)

例: $AC^0 \neq NC^1$

(Furst, Saxe, Sipser '84)

例: $PP \not\subseteq SIZE(n^k)$

(Vinodchandran '05)

例: $NEXP \not\subseteq ACC^0$

(Williams '14)

技法の限界説明

相対化

(Baker, Gill, Solovay '75)

自然な証明

(Razborov, Rudich '97)

代数化

(Aaronson, Wigderson '09)

計算量クラスの変離

例: $P \neq EXPTIME$

(Hartmanis, Stearns '65)

例: $AC^0 \neq NC^1$

(Furst, Saxe, Sipser '84)

例: $PP \not\subseteq SIZE(n^k)$

(Vinodchandran '05)

例: $NEXP \not\subseteq ACC^0$

(Williams '14)

技法の限界説明

相対化

(Baker, Gill, Solovay '75)

自然な証明

(Razborov, Rudich '97)

代数化

(Aaronson, Wigderson '09)

???

フロンティア

Williamsの技法の
限界は？



例: $PP \not\subseteq SIZE(n^c)$
(Vinodchandran '05)

代数化
(Aaronson, Wigderson '09)

例: $NEXP \not\subseteq ACC^0$
(Williams '14)

???

開発

アルゴリズム
設計技法

計算量クラス
分離技法

?

うまく
いかない

?

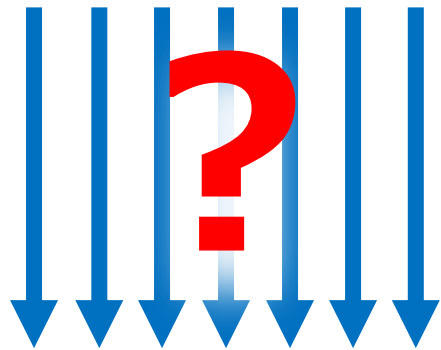
$P = NP$

$P \neq NP$

解明

$P \neq NP$ 問題へのアプローチ

アルゴリズム 設計技法



$P = NP$

うまく
いかな

- 貪欲法
- 分割統治法
- 列挙法
- 局所探索法
- 数理計画法

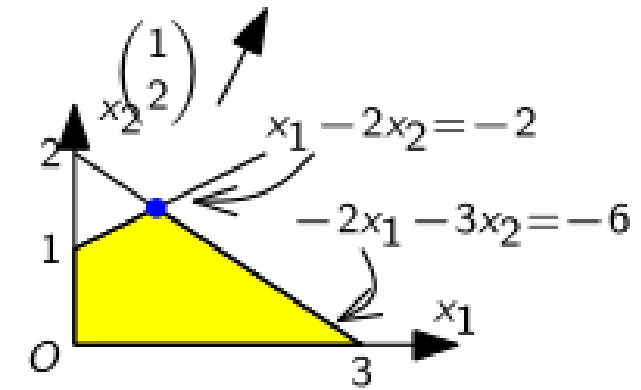
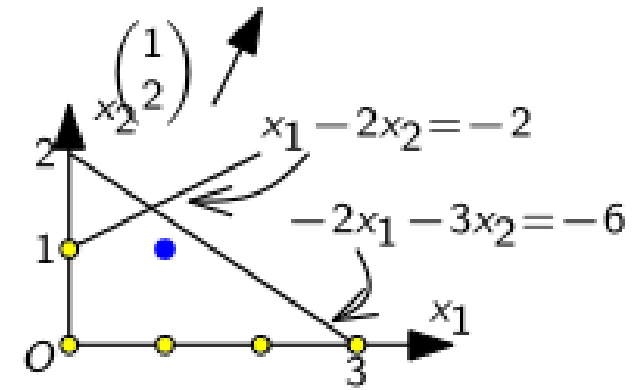
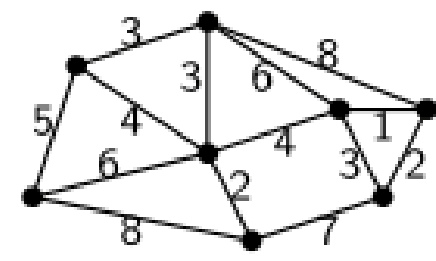


再解釈

NP問題

整数計画問題

凸計画問題



帰着

緩和/強化

数理計画法によるアルゴリズム設計

再解釈

難しいNP問題
(NP完全問題)



コンパクトな
凸計画問題

$P = NP$

線形計画問題
半正定値計画問題

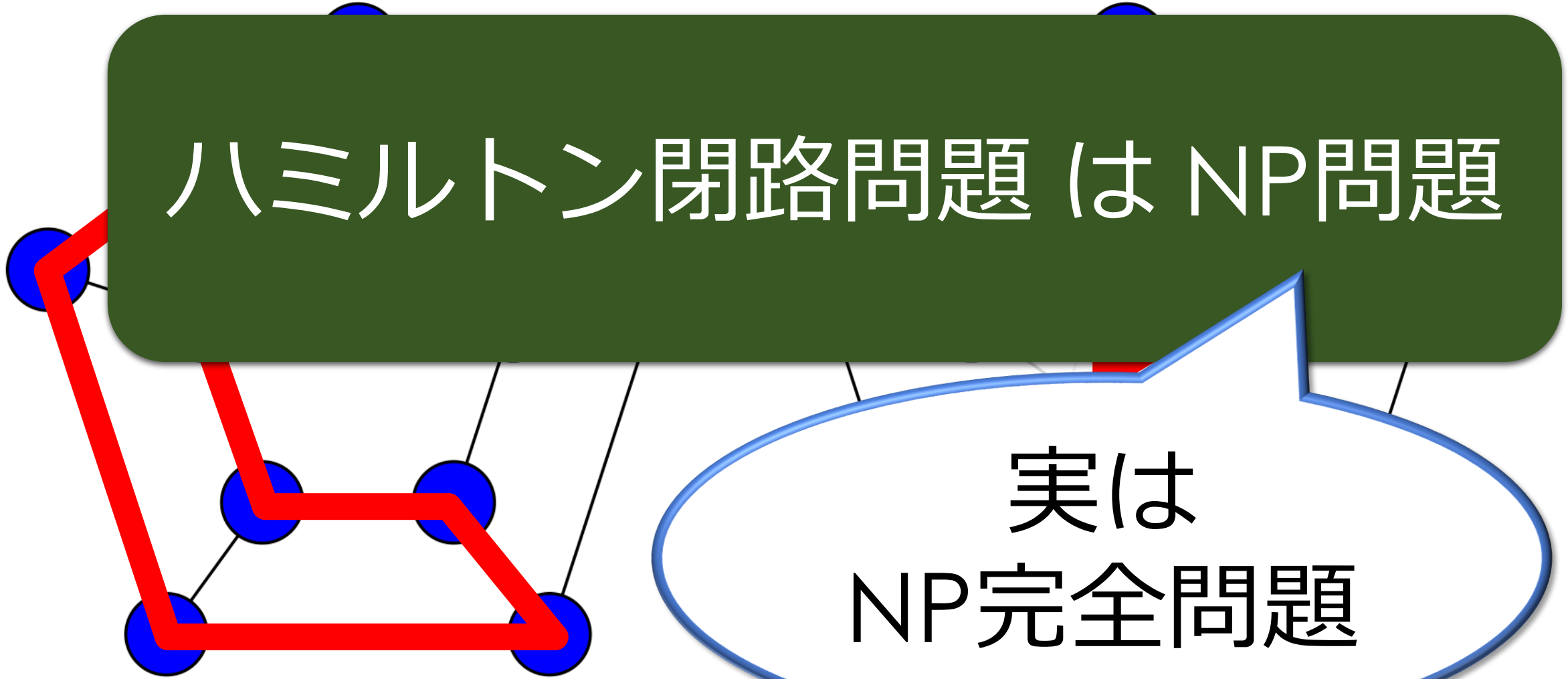
帰着


表現力：線形計画 < 半正定値計画

ハミルトン閉路問題は NP 問題

実は
NP 完全問題

ハミルトン閉路, ありますか?





Swart ('80s後半)

ハミルトン閉路問題は
コンパクトな別の線形計画問題に
帰着できる

間違ってるけどね...



Swart ('80s後半)

非負行列分解を使えば
どうがんばってもダメだって
言えるんよ



間違ってるけどね...

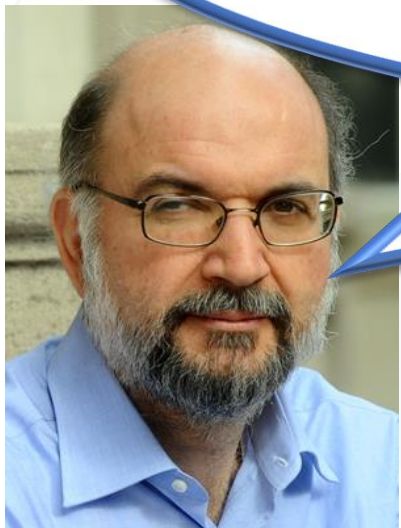
Yannakakis ('91)

Fioriniら ('12)



ダメだって言えました！

言えるんよ



間違ってるけどね...

Yannakakis ('91)

Fioriniら ('12)



ハミルトン閉路問題は
コンパクトな線形計画問題に
帰着できない

Fioriniら ('12)



ハミルトン閉路問題は
コンパクトな半正定値計画問題に
帰着できない

フロンティア

Leeら ('15)



開発

アルゴリズム
設計技法

計算量クラス
分離技法

うまく
いかない

$P = NP$

$P \neq NP$

解明

$P \neq NP$ 問題へのアプローチ

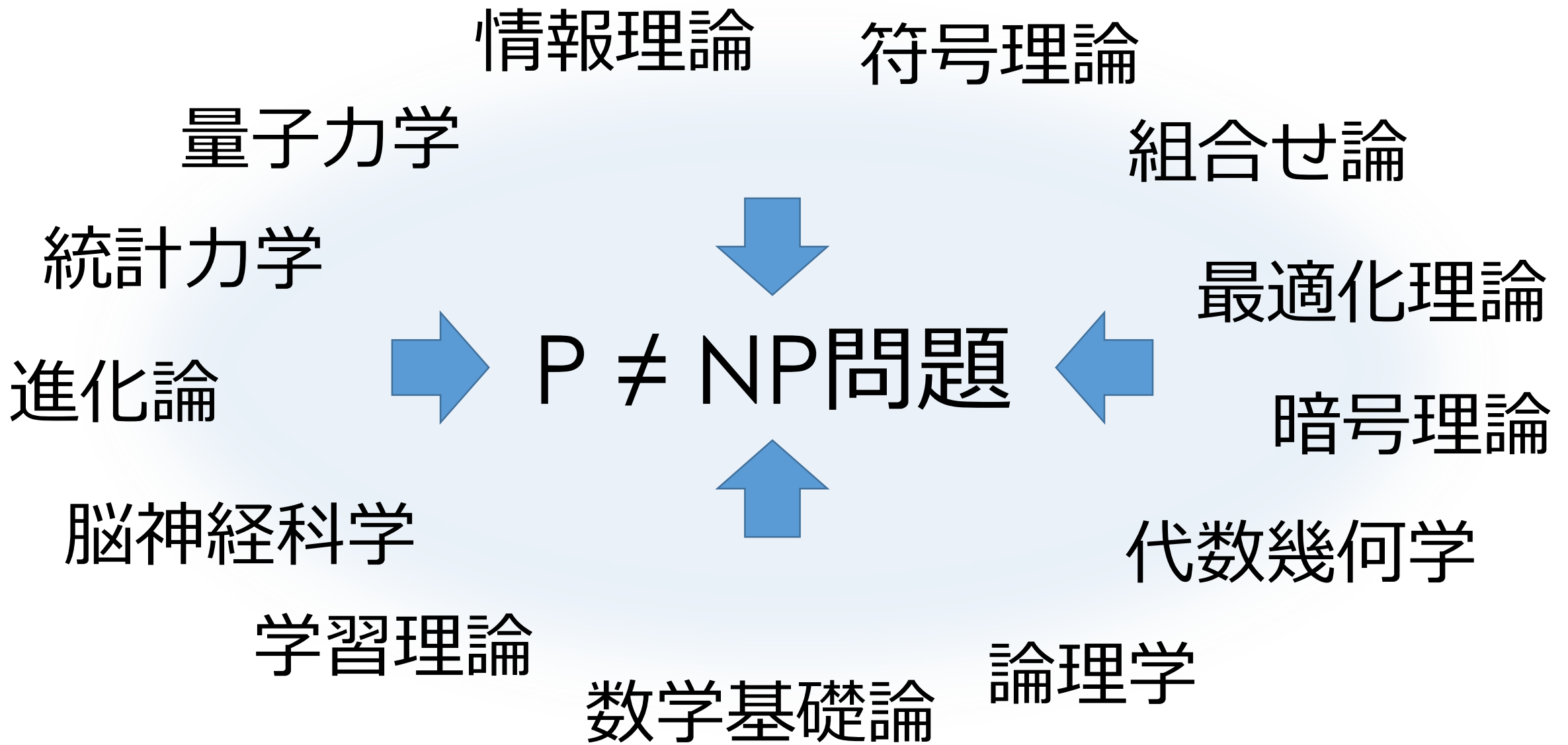


P ≠ NP問題,
進捗どうですか？



'70s

解決



ポアンカレ予想

解決済 ('03)

$P \neq NP$ 問題

ナビエ・ストークス方程式

BSD予想

ヤン・ミルズ方程式と質量ギャップ

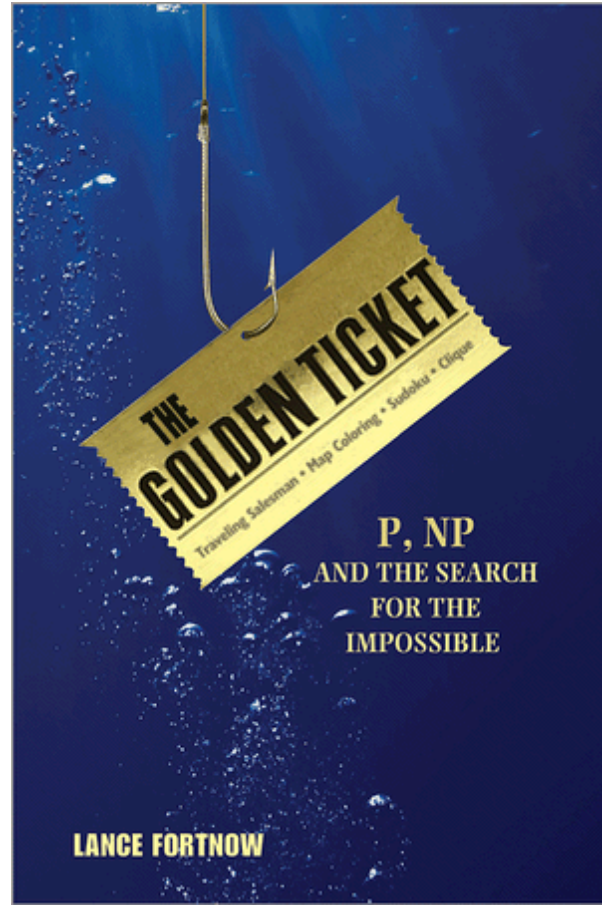
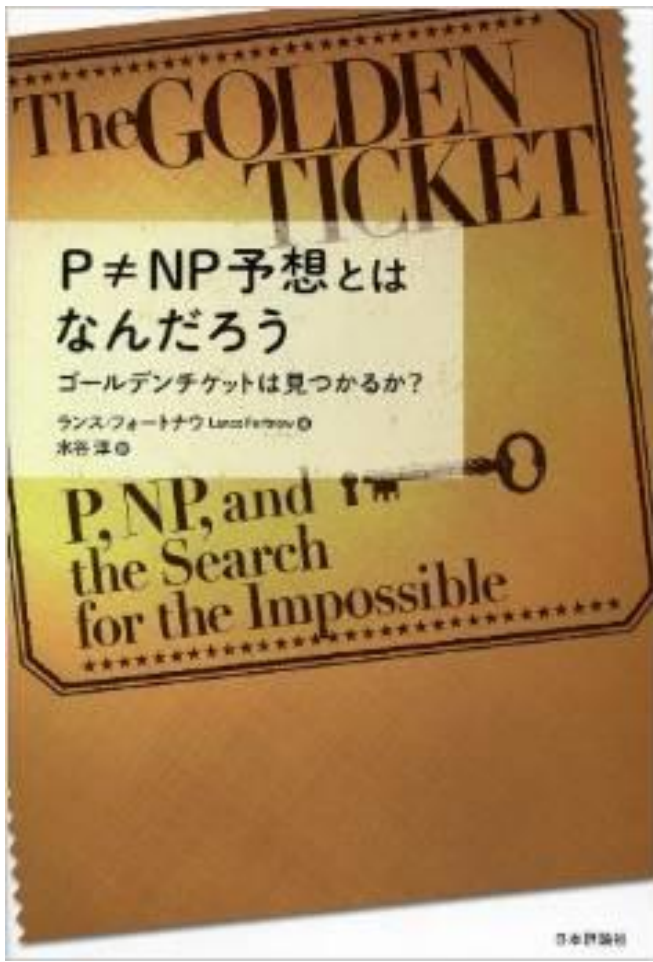
ホッジ予想

リーマン仮説



クレイ数学研究所

ミレニアム懸賞問題 ('00)

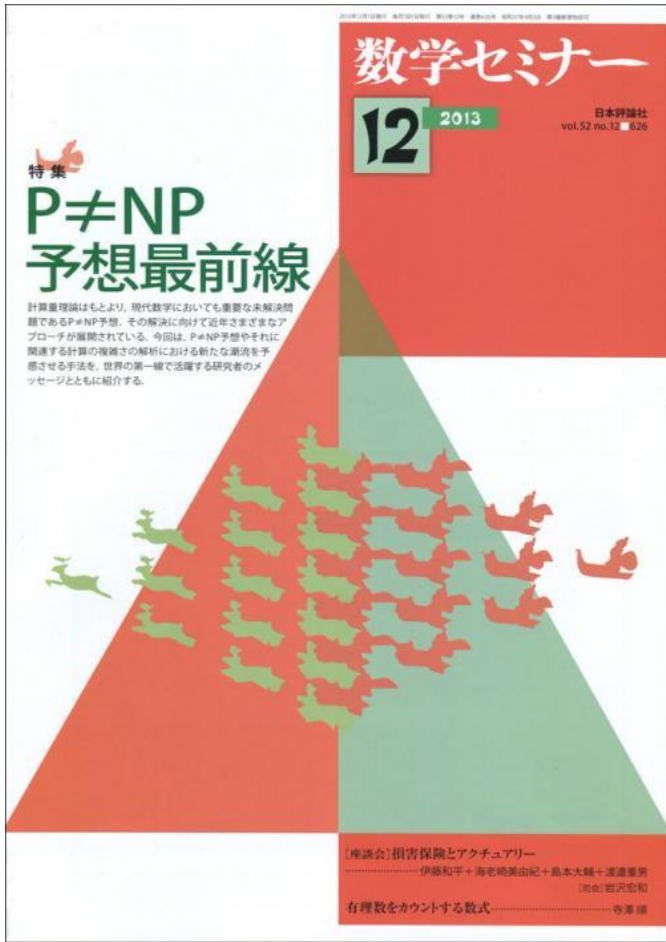


L. Fortnow

P ≠ NP 予想とはなんだろう ('14)
ゴールデンチケットは見つかるか？

数学セミナー

2013年12月号
P≠NP予想最前線



2009年12月号
計算量の現在



私の記事 <http://goo.gl/XEPjxx>

計算複雑性にまつわる10の誤解

岡本 吉央

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報・通信工学専攻
okamotoy@uec.ac.jp

2013年8月8日
日本オペレーションズ・リサーチ学会
北海道支部サマースクール 2013

計算複雑性に まつわる10の誤解 ('13)

2と3の違い ('14)

2と3の違い

岡本 吉央
電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報・通信工学専攻
okamotoy@uec.ac.jp

0 はじめに

アルゴリズムや計算理論が対象とする問題には簡単なものと難しいものがある。簡単な問題はいわゆる「P問題」であり、多項式時間で解ける問題を指す。一方、難しい問題はいわゆる「NP困難問題」であり、現在のところ、多項式時間で解けるとは知られておらず、 $P \neq NP$ という仮定の下では多項式時間で解けない。

問題の中にはある種のパラメータを持つものが存在する。そのパラメータの変化と問題の難しさにどのような関係があるのか、ということについて、知られていることを見てみたい。ここで挙げる例は、私の興味や知っていることに寄っているため、もちろん網羅的ではない。その点には注意する。

伝えたいメッセージは2つある。1つは、計算というものにまつわる「現象」が存在する、ということである。自然科学は多くの観察から始まる。その対象が天体であれば天文学になり、生物であれば生物学になる。ここでは、計算にまつわる現象を観察して、計算を自然科学と



みなさん、
進捗どうですか？

現在

修了

そのアプローチは
結実しないかもしれない



限界の解明も研究！





P ≠ NP問題,
進捗どうですか？



岡本 吉央 (おかもと よしお)
電気通信大学

okamotoy@uec.ac.jp

アルゴリズム分野

