



配属の数理(1)

良いペアを作ろう！

ここで学ぶこと

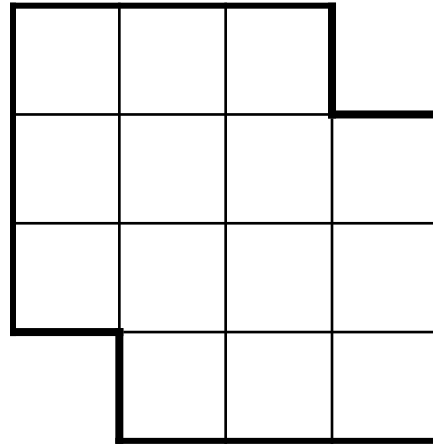
- マッチング問題
 - 市松模様で色分け可能(2部グラフ)の場合
 - 一般グラフの場合
- 割当問題 誰にどの仕事を割り当てる?
- 配属問題 ゼミの配属を決めよう
- 安定結婚問題 不満を抑えるマッチング

例題1

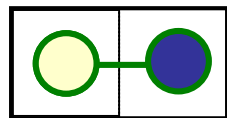
畳の敷き詰めプランを作成しよう



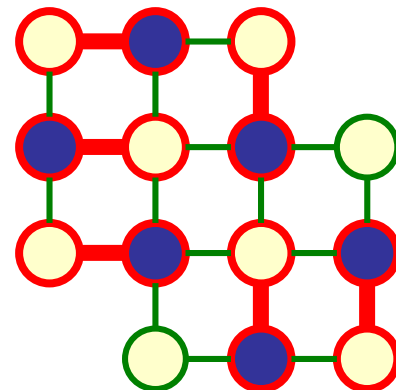
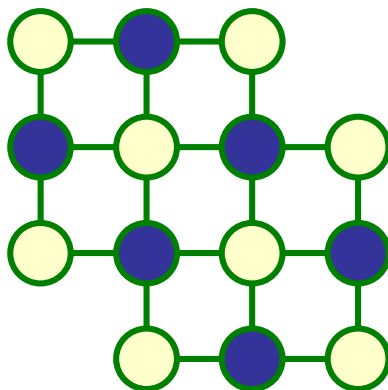
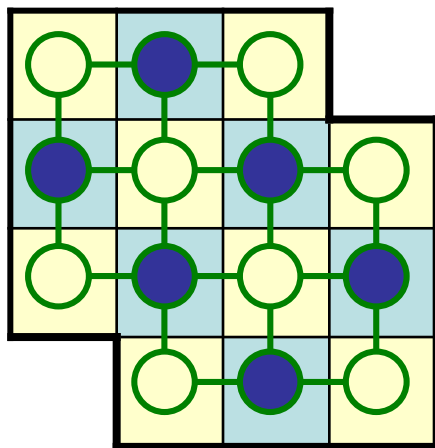
畳1枚



例題1 解説



市松模様塗れる
↓
マッチングを見つけやすいぞ!



● 6点 < ○ 8点

マッチング数6

市松模様

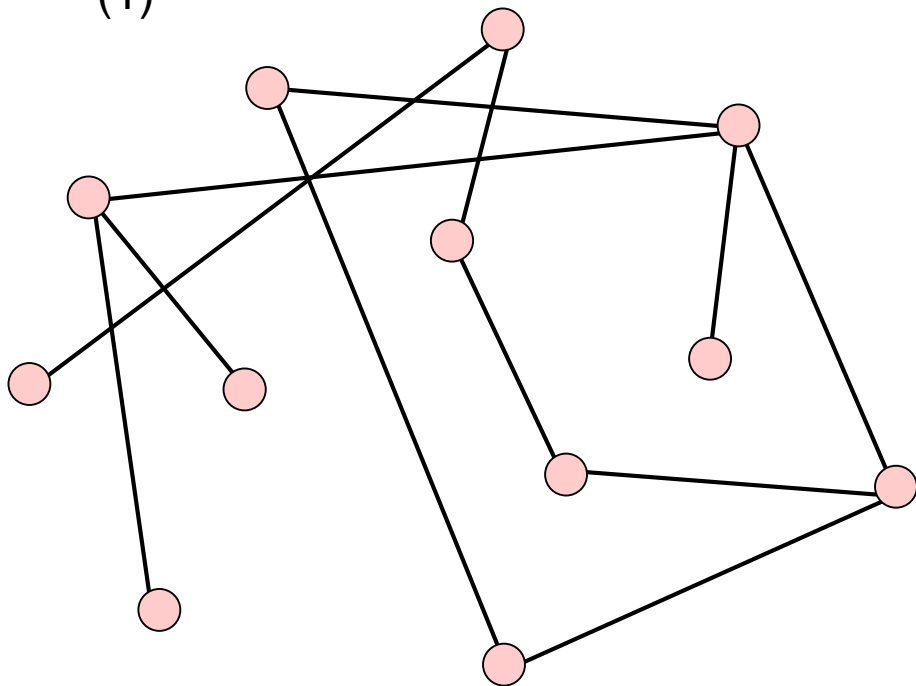
高々6枚しか畳は置けない

最大マッチング

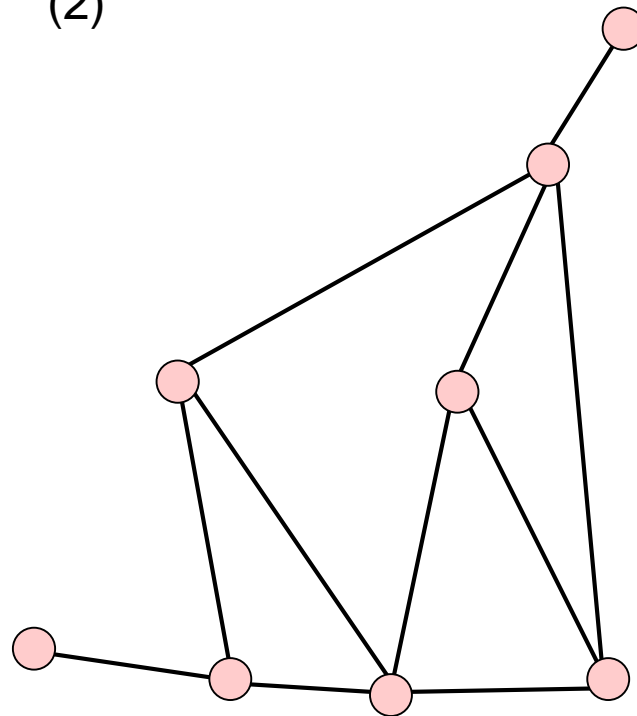
市松模様(Shimatsu)に塗ってみよう!



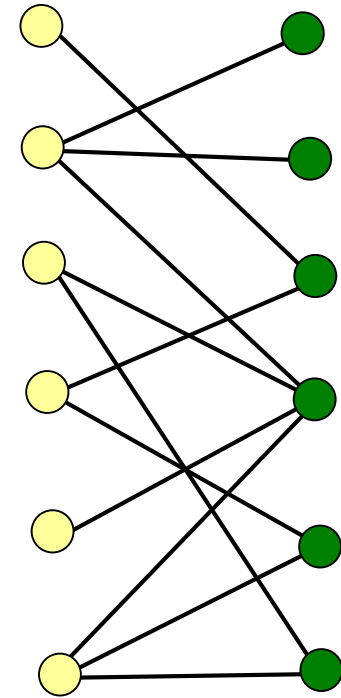
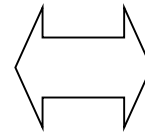
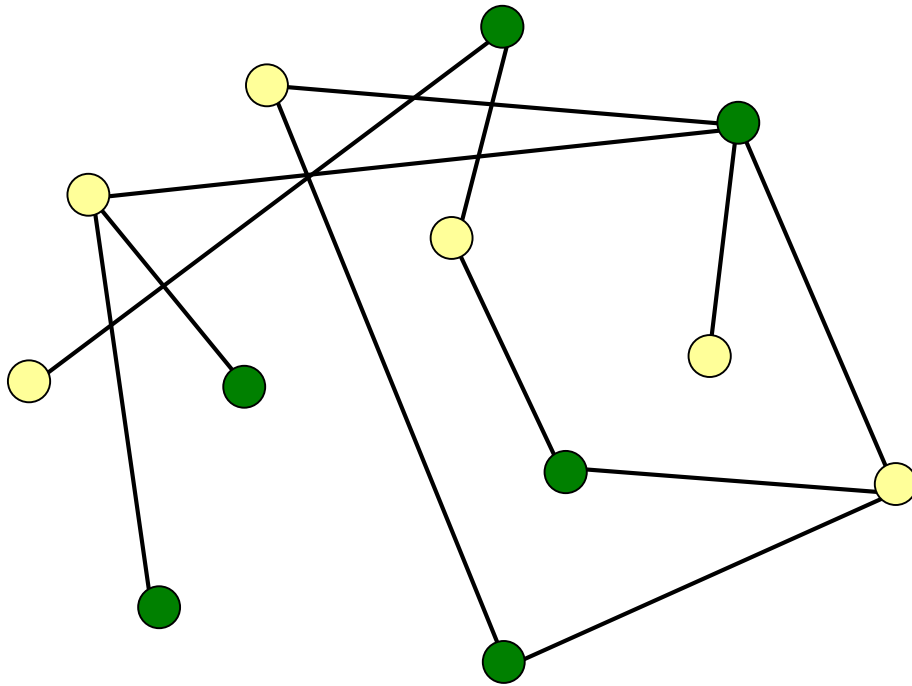
(1)



(2)



市松模様塗れるグラフ



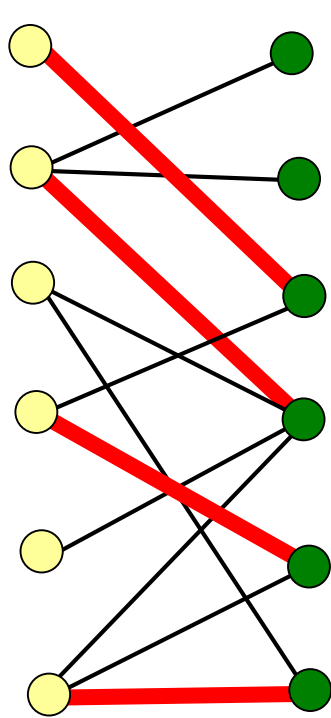
奇数本の枝で構成される閉路が無い

奇閉路

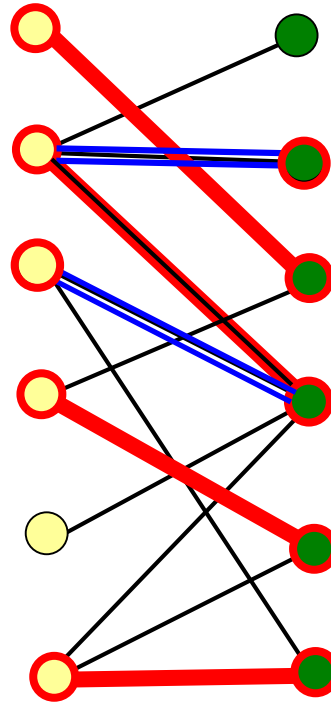
二部グラフ
(bipartite graph)

2部グラフ上の最大マッチング

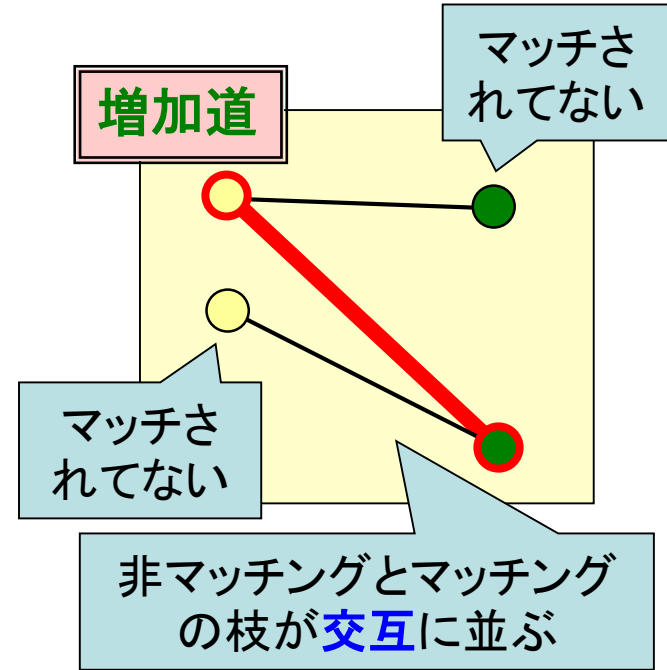
マッチングの例



左側の
マッチされて
いない点



マッチング数を増やせる場合



Q. 最大マッチング?

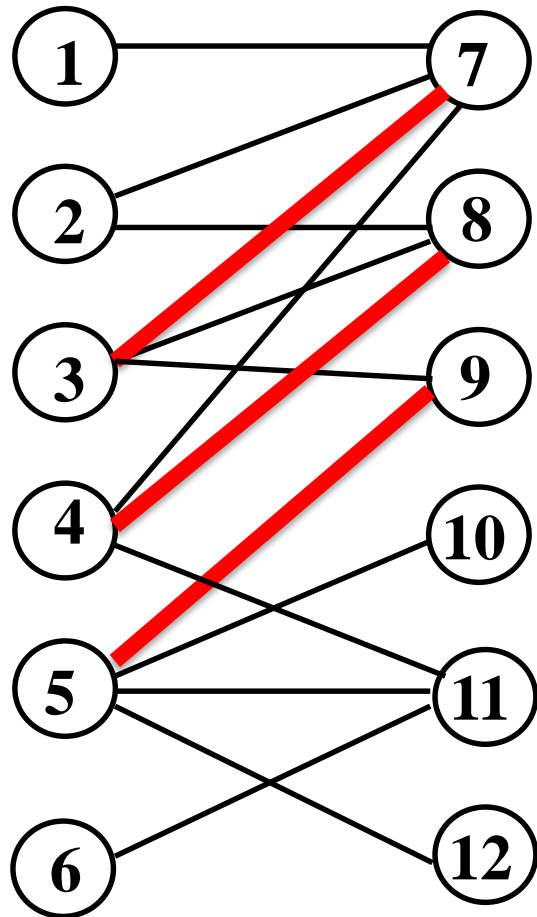


増加道を見つけて、マッチングを増やす
増加道が無ければ、最大マッチング

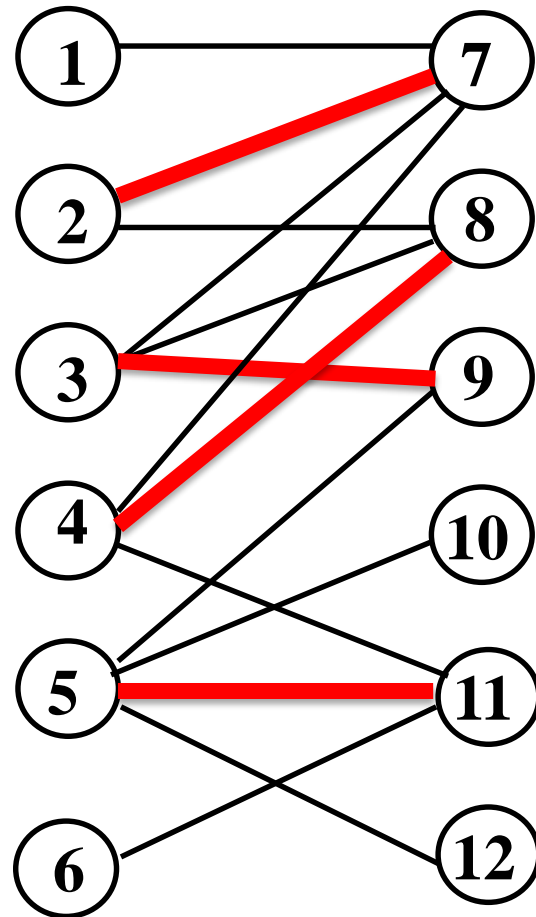
→ **増加道法**

練習：増加道を見つけよう

(1)

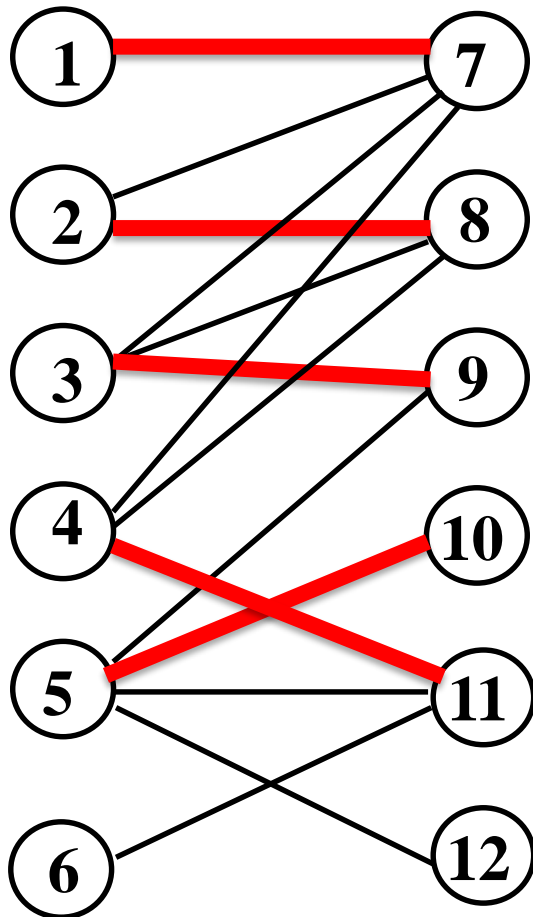


(2)



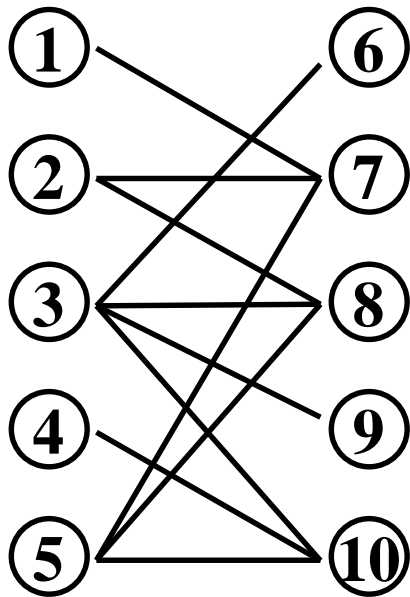
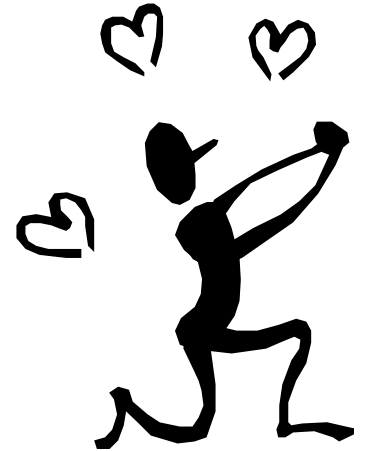
練習：増加道はある？

(3)



練習 Shall we dance?

ダンスパーティーに男性・女性各5人が集まった。
パートナーになりたい希望は以下の組合せである。



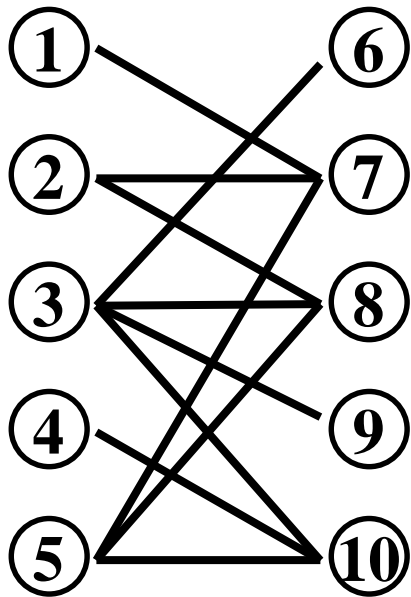
男性

女性

さて、なるべく多くのペアを組みたいが
最大で何組できるか？その組み方は？



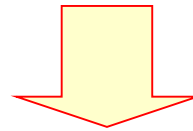
練習の答えの例



(手順1) 適当にマッチングを見つける

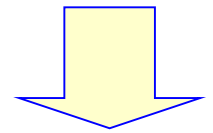
(手順2) マッチされていない点から
増加道を探す

増加道があった



マッチング変更

増加道が無い

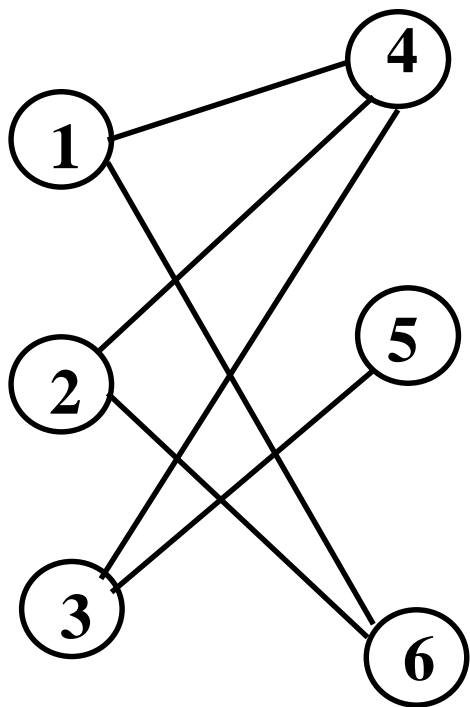


最大マッチング
発見！

(終了)

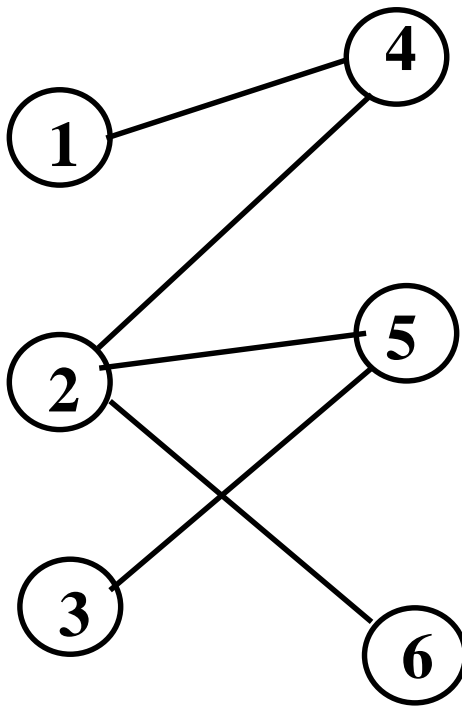
練習 最大マッチングを求めよう

(1)



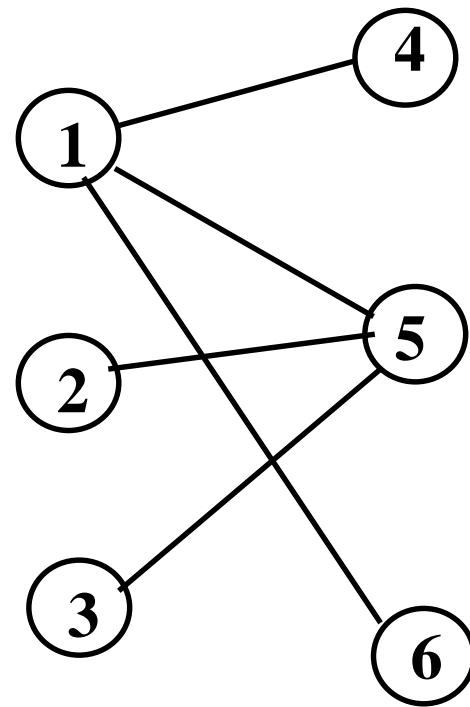
最大マッチング
の大きさ=

(2)



最大マッチング
の大きさ=

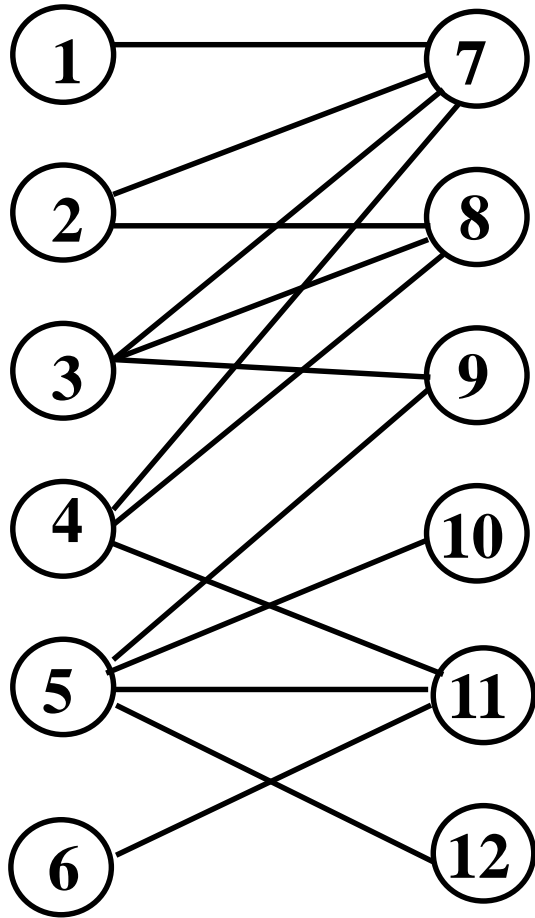
(3)



最大マッチング
の大きさ=

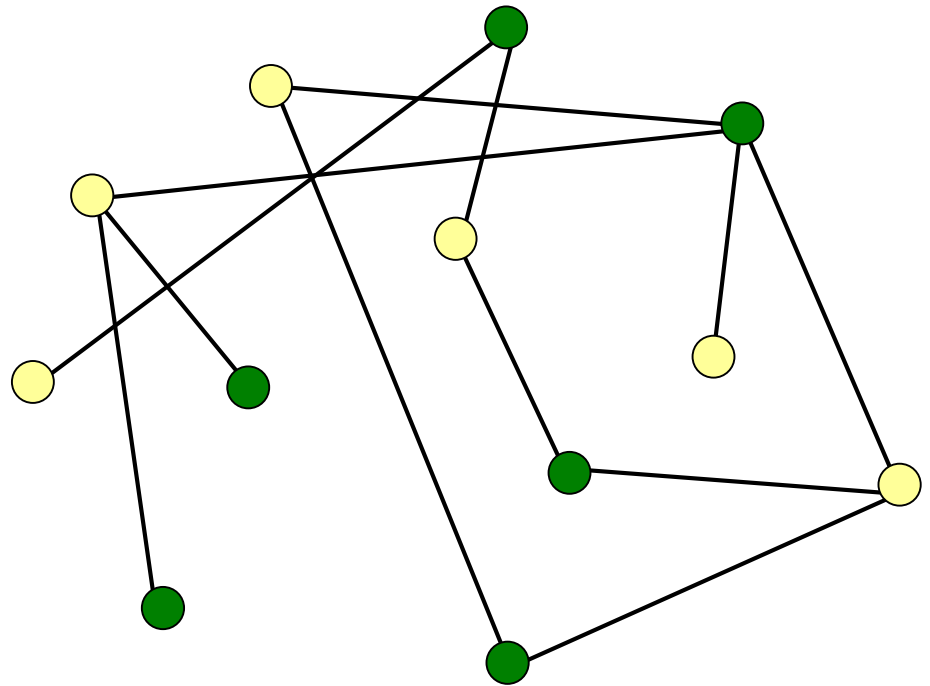
練習：最大マッチングを求めよう

(4)



最大マッチング
の大きさ=

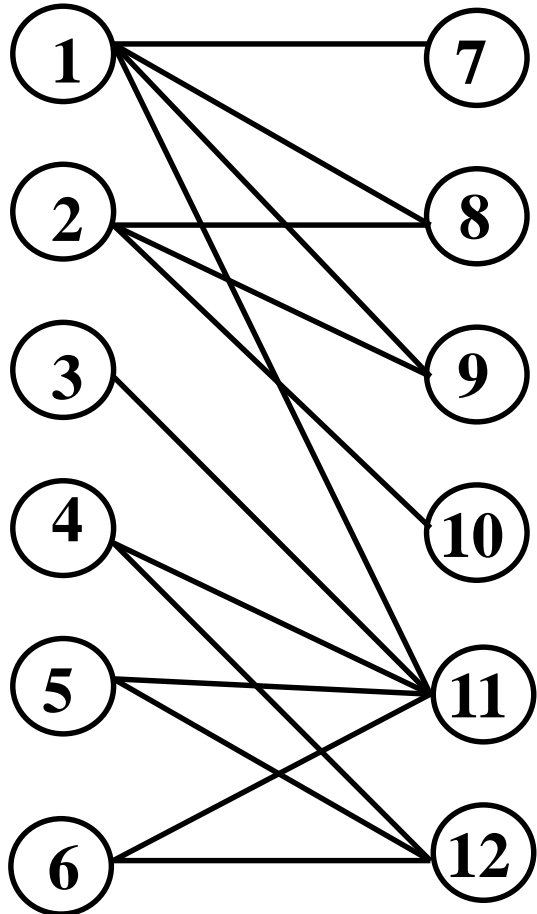
(5)



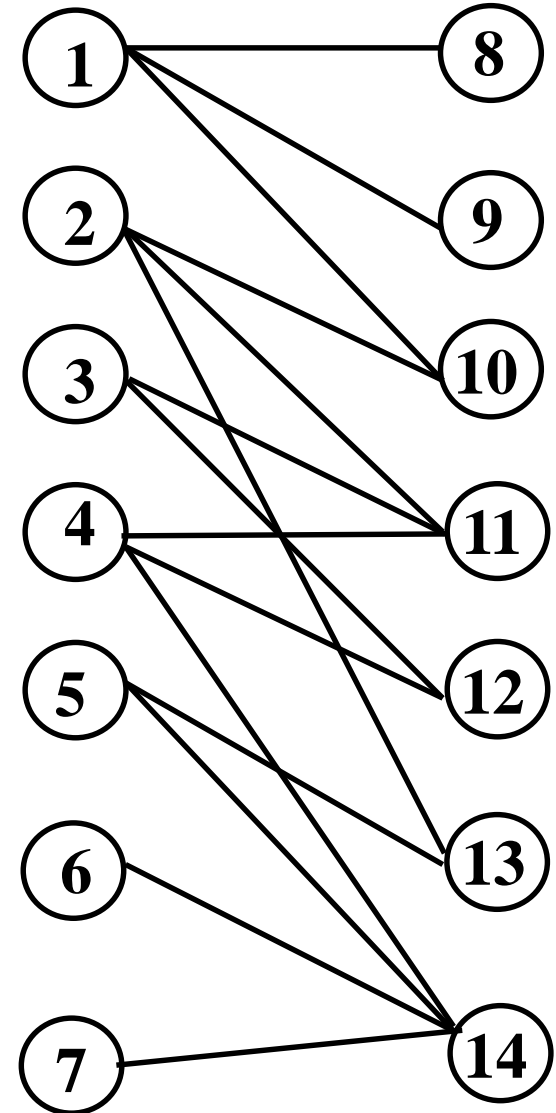
最大マッチング
の大きさ=

演習1 最大マッチングを求めよう

(1)



(2)



演習2 バス会社運行係

- 6ルート of バス運行を計画中
- 各ターミナル間の回送時間は右下表の通り
 - バス停駐車可能
- 最低何台で運行可能？

	発地	出発時間	着地	到着時間
ルート①	A	9:20	C	9:40
ルート②	B	10:00	A	10:30
ルート③	B	8:40	B	9:50
ルート④	D	8:00	B	8:30
ルート⑤	C	12:30	E	13:30
ルート⑥	E	11:10	C	12:20

計画バスルート

回送着地

	A	B	C	D	E
回送発地 A	0	3	1	6	2
回送発地 B	4	0	5	5	6
回送発地 C	2	5	0	6	4
回送発地 D	3	2	1	0	5
回送発地 E	7	3	5	4	0



(単位:10分)

例題2 2部グラフの点被覆

誰に辞められると、誰もダンスができなくなるか？

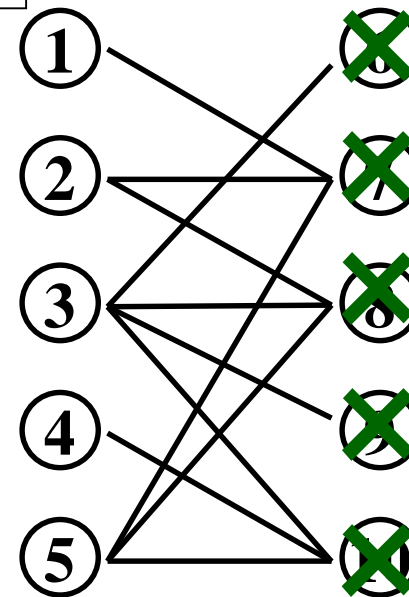
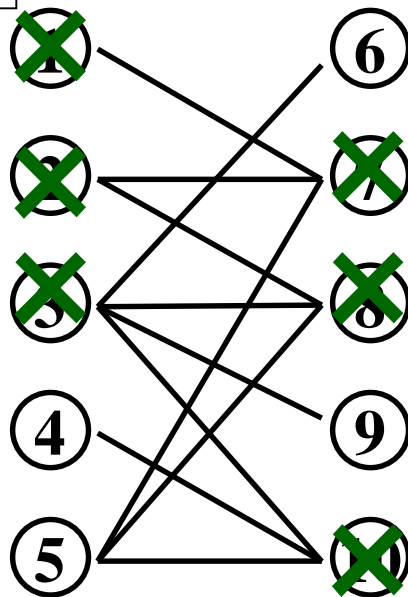
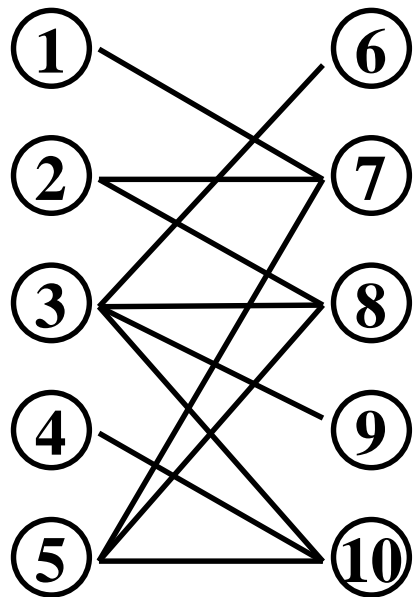
すべての枝に接続する点の集まり \leftrightarrow \times の人(点)の集まり: **点被覆**

男性

女性

例1

例2



点被覆の大きさ=6

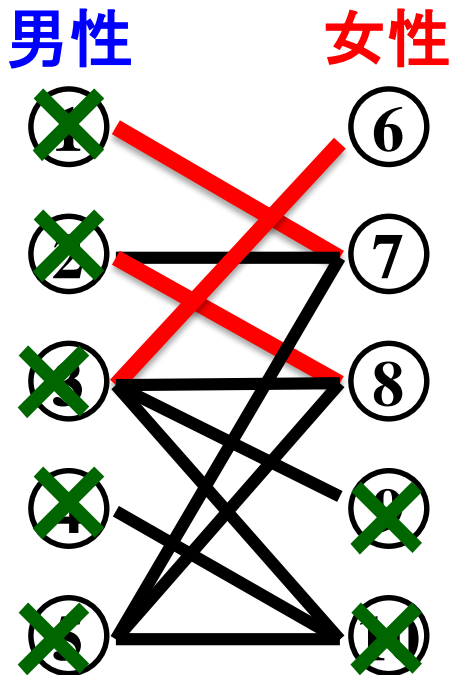
点被覆の大きさ=5

問題

大きさが一番小さな点被覆は？(最小点被覆問題)

マッチングと点被覆

点被覆の簡単な見つけ方



(手順1) 適当にマッチングを見つける

(手順2) マッチされていない点
+
マッチングの一方の点
||
点被覆

示唆

$(\text{マッチングの大きさ}) \leq (\text{点被覆の大きさ})$

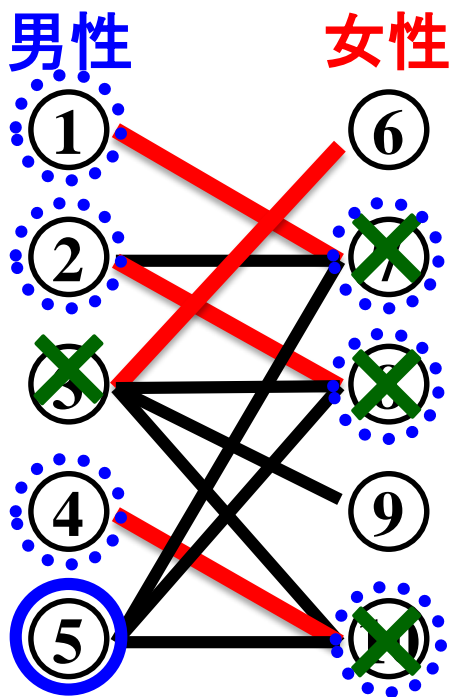
つまり $(\text{最大マッチングの大きさ}) \leq (\text{最小点被覆の大きさ})$

最大マッチングと最小点被覆

(準備) 最大マッチングを見つける

最大マッチング

(手順1) 左側でマッチされていない点 \bigcirc から
交互道で到達できる点 \odot を見つける



観察1 点 \odot , 点 \bigcirc だけに限定すると
右側の点は, 点被覆

観察2 残った点だけに限定すると,
左側の点は, 点被覆

⇒ 最大マッチングの大きさと同じ
点被覆を見つけた

(最大マッチングの大きさ) \leq (最小点被覆の大きさ) より

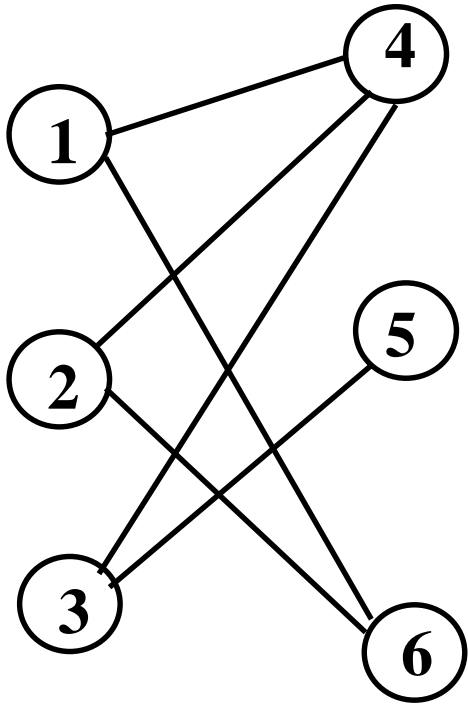
\times は最小点被覆

⇒ 2部グラフでは
(最大マッチングの大きさ) = (最小点被覆の大きさ)

König-Egerváryの定理

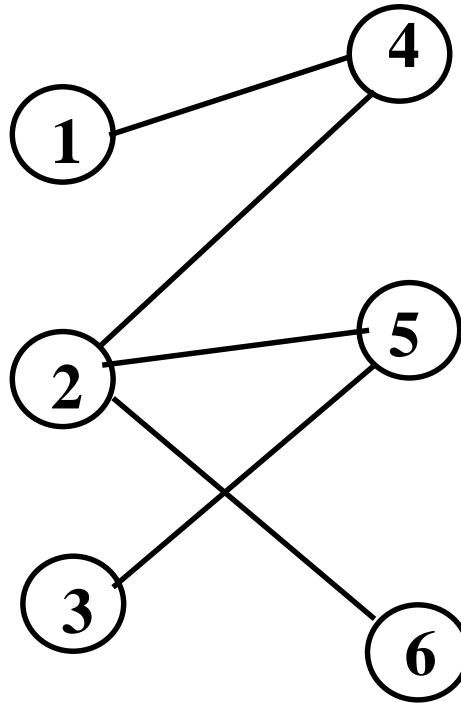
練習 最小点被覆を求めよう

(1)



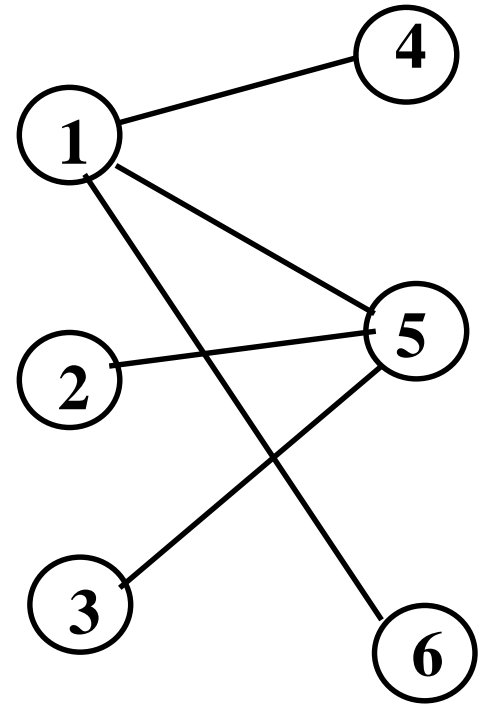
最小点被覆
の大きさ =

(2)



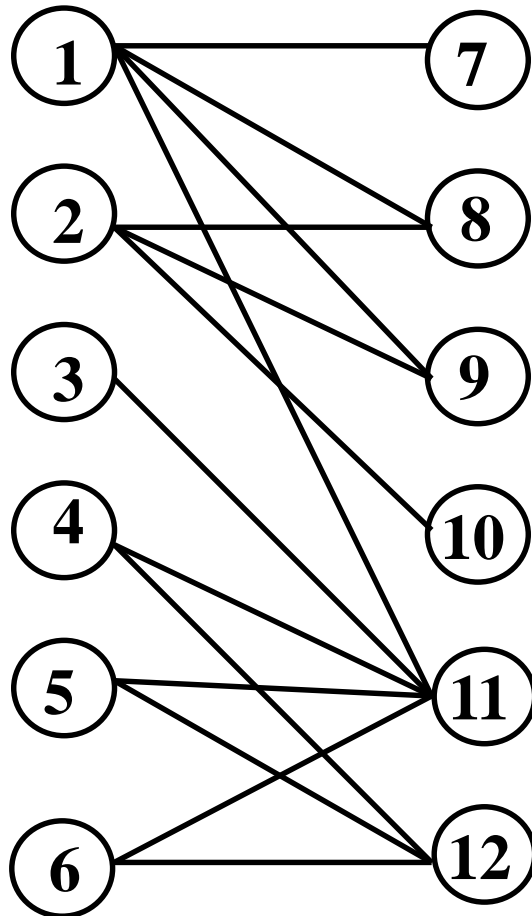
最小点被覆
の大きさ =

(3)



最小点被覆
の大きさ =

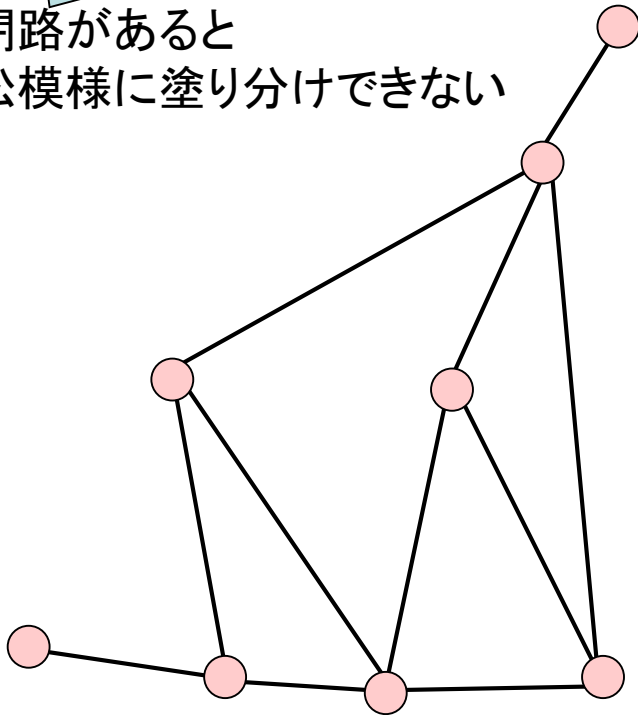
演習3 最小点被覆を求めよう



発展 2部グラフでない場合のマッチング

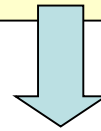
2部グラフではない

奇閉路があると
市松模様に塗り分けできない



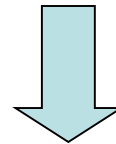
1965年

奇閉路を見つけたら
一時的に一点にみなせば
何とかなるんじゃない?



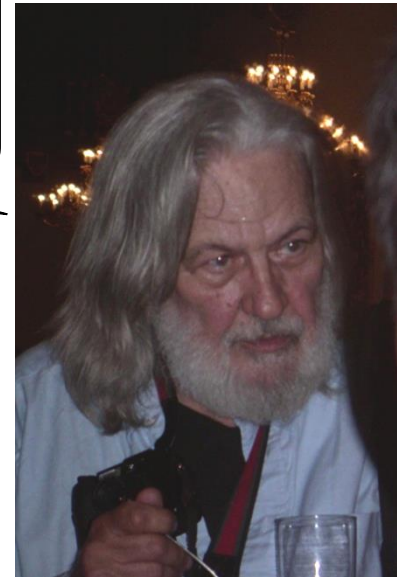
花アルゴリズム

最小重み最大マッチングを
見つけることも可能



詳しくは
もっと勉強するのじゃ

Edmons博士



組合せ最適化問題に
大きな影響を与える



困った, 困った

ここまでのまとめ

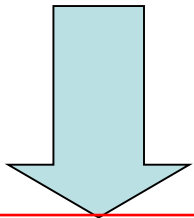
奇閉路が無いグラフ

- **最大マッチング**を求める

- 市松模様で色分け可能(**2部グラフ**)の場合
- 一般グラフの場合

花アルゴリズム

増加道法



次は枝に**重み**のある場合の話題

- **割当問題** 誰にどの仕事を割り当てる?
- **配属問題** ゼミの配属を決めよう
- **安定結婚問題** 不満を抑えるマッチング

例題3 仕事の割当

5つの支社へ一人ずつの人員補強を計画。
希望任地と、その任地への赴任費用は下表のとおり。

	支社①	支社②	支社③	支社④	支社⑤
Aさん	25	30			
Bさん	20		70	35	
Cさん	80	75	90	65	
Dさん				55	40
Eさん				60	50

空白は希望
しない支社

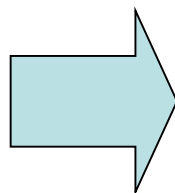
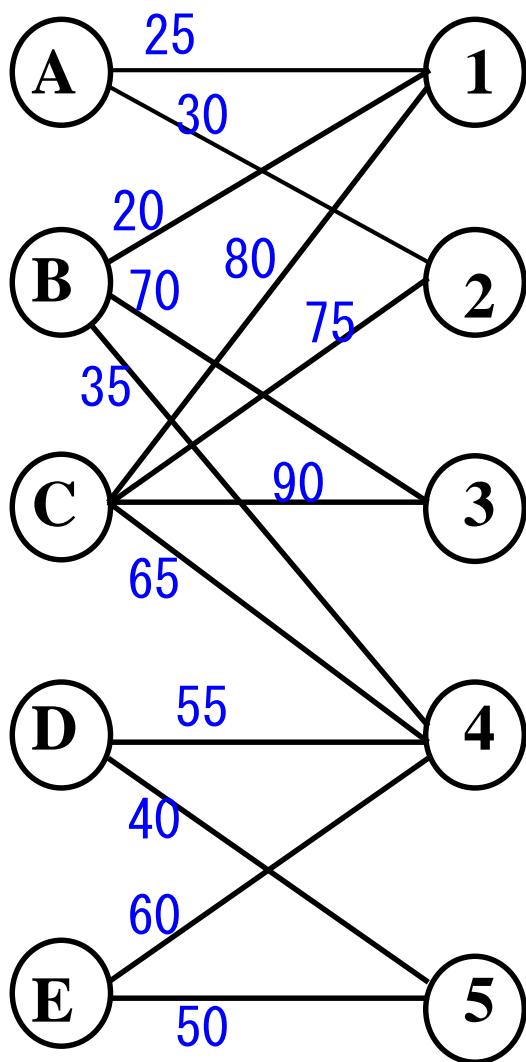


さて、誰をどの支社に配属すれば最も費用が安く済む？

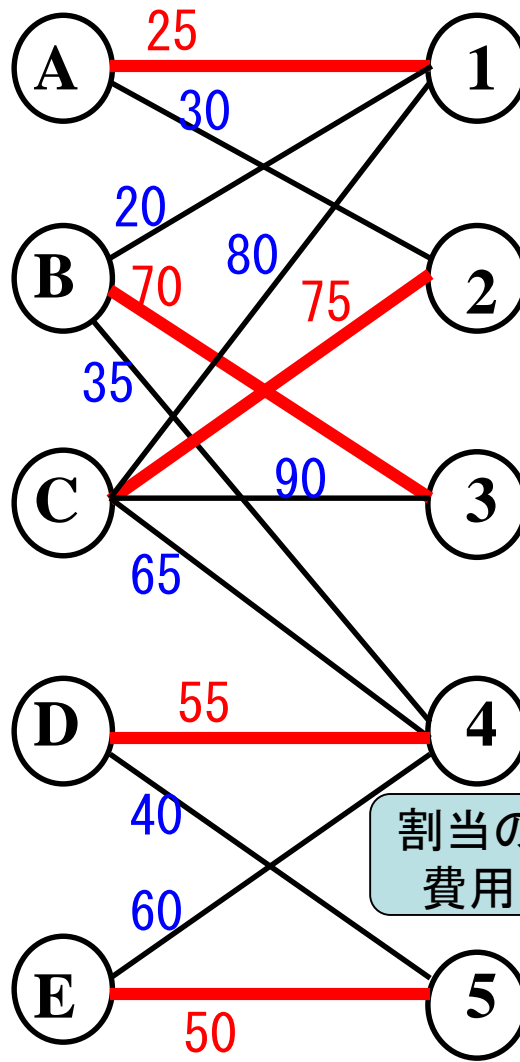
関連問題: 5人を各支社に割り当てることはできるか？

問題の図示

割当の総費用



適当に割当



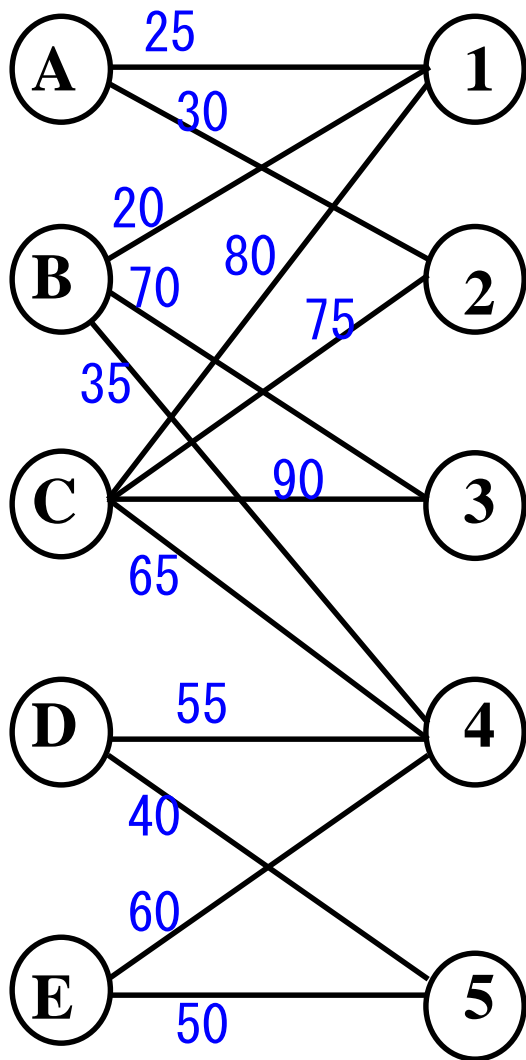
割当の費用

$$\begin{aligned} &25 \\ &+ 70 \\ &+ 75 \\ &+ 55 \\ &+ 50 \\ &|| \\ &275 \end{aligned}$$

割当問題

費用が最小になる割当は?

練習 最適割当を求めよう



最適割当を求める方法

解法はいくつも提案

紹介

- オークション法
- ハンガリアン法
- 最小費用流問題

必要なもの:表

	①	②	③	④	⑤
A	25	30			
B	20		70	35	
C	80	75	90	65	
D				55	40
E				60	50

ハンガリアン法の流れ

準備

割当候補の限定

手順1

割当案策定

完全マッチング?

yes

最適割当
(終了)

no

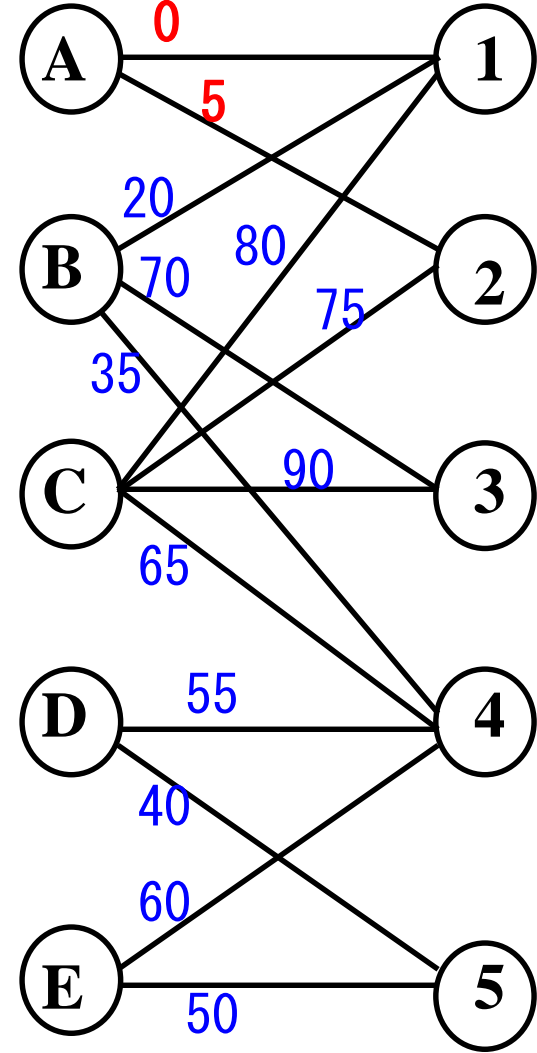
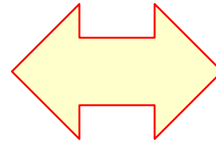
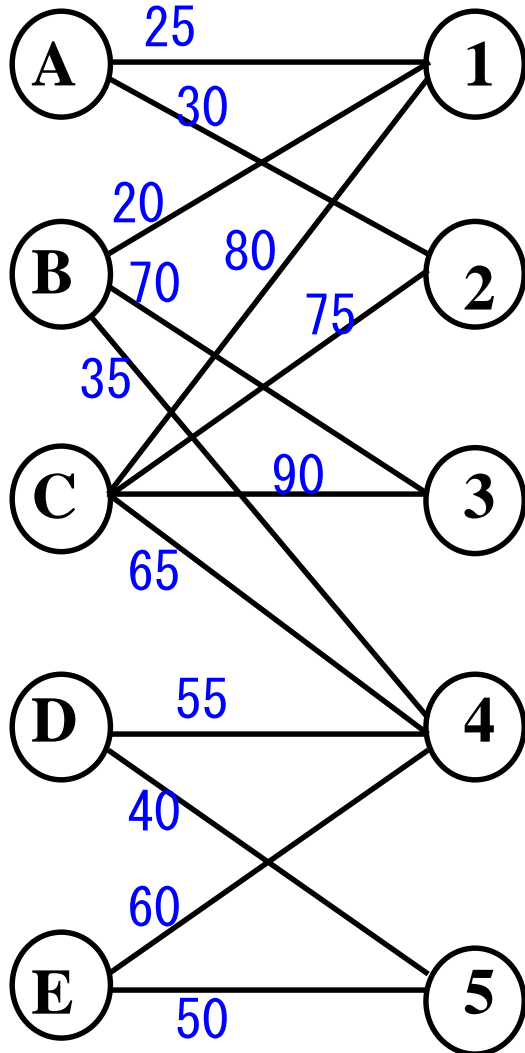
手順2

候補変更準備

手順3

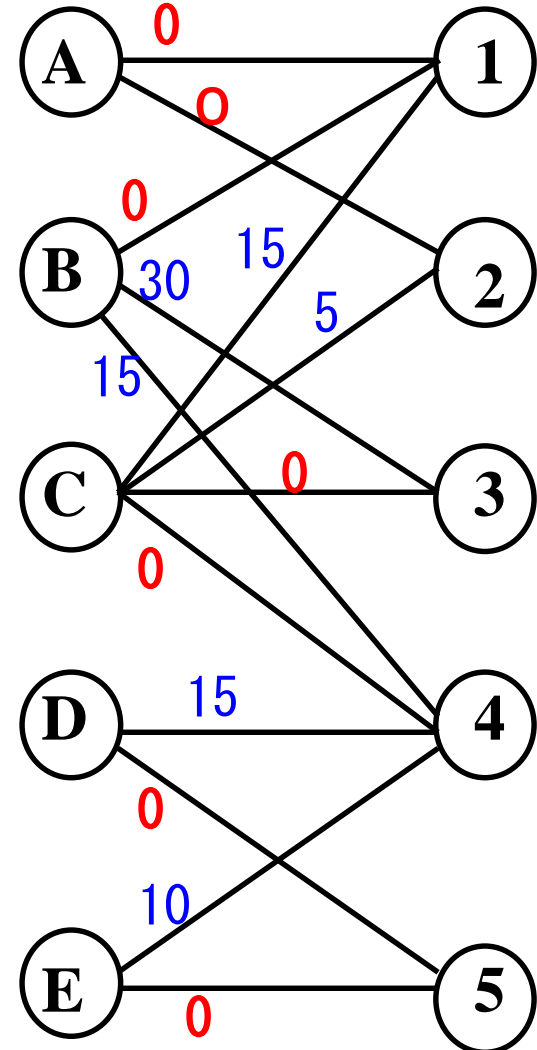
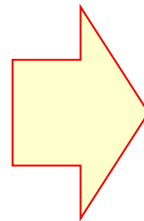
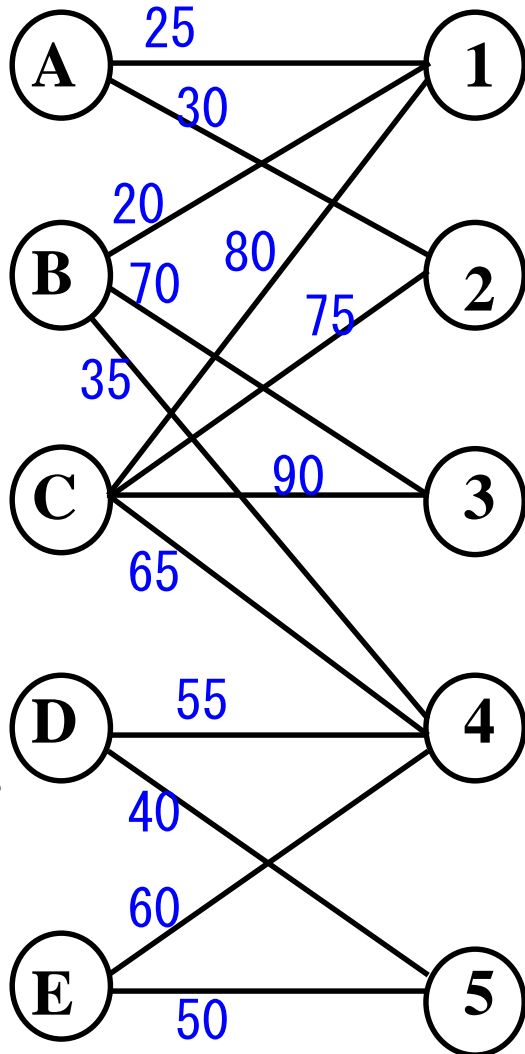
候補変更

観察 割当問題の特徴



行(列)全体でのコストの一定量の変化は解に影響しない

ハンガリアン法の背景



難しい?



簡単?



行(列)のコストを同時に変化させ簡単な問題に変形

準備 割当候補の限定

①行毎に最小数字を発見

	①	②	③	④	⑤
A	25	30			
B	20		70	35	
C	80	75	90	65	
D				55	40
E				60	50

③列毎に最小数字を発見

	①	②	③	④	⑤
A	0	5			
B	0		50	15	
C	15	10	25	0	
D				15	0
E				10	0

②行毎に最小数字を引く

	①	②	③	④	⑤
A	0	5			
B	0		50	15	
C	15	10	25	0	
D				15	0
E				10	0

④列毎に最小数字を引く

	①	②	③	④	⑤
A	0	0			
B	0		25	15	
C	15	5	0	0	
D				15	0
E				10	0

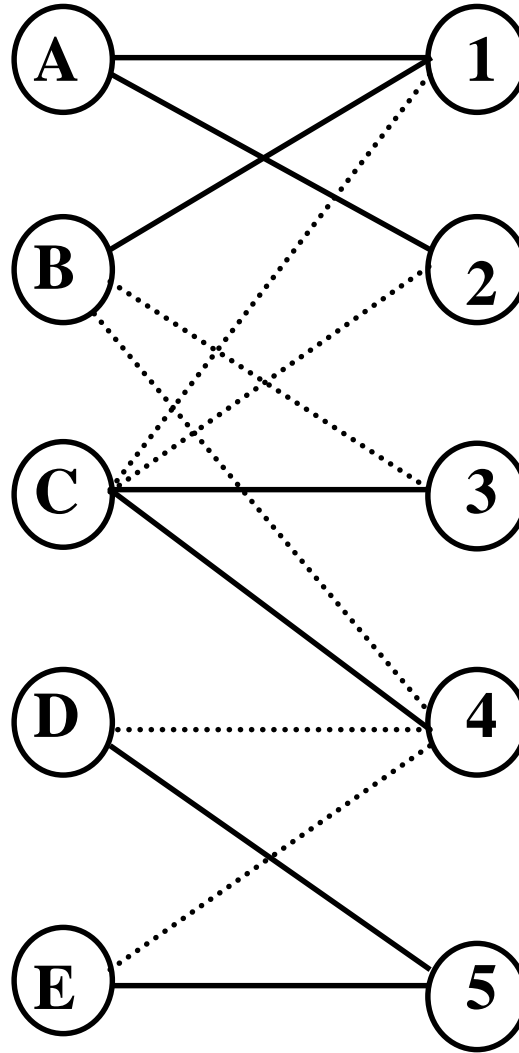
準備完了

手順1 割当案の作成

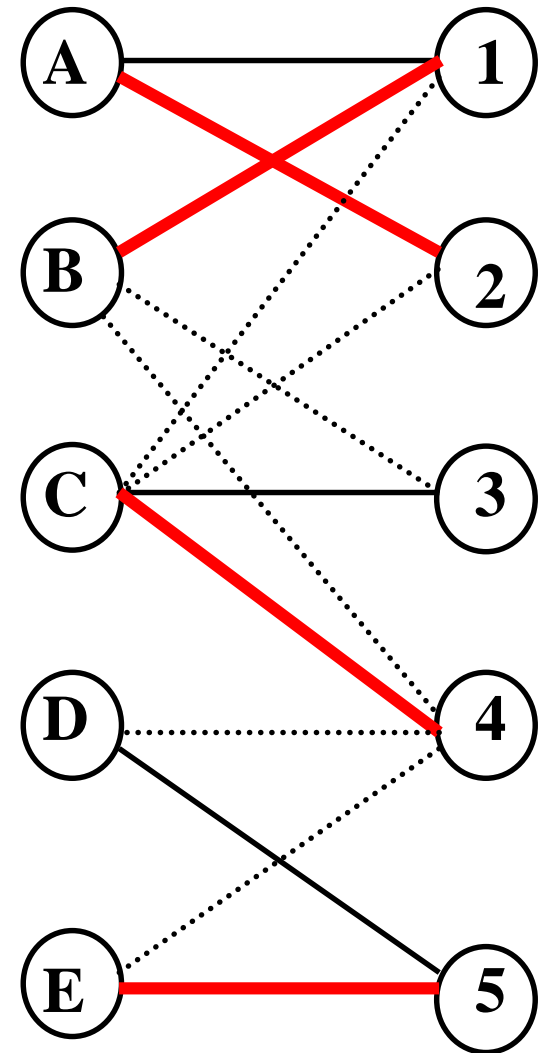
「0」部分だけで
最大マッチングを求める

	①	②	③	④	⑤
A	0	0			
B	0		25	15	
C	15	5	0	0	
D				15	0
E				10	0

	①	②	③	④	⑤
A	0	0			
B	0		25	15	
C	15	5	0	0	
D				15	0
E				10	0



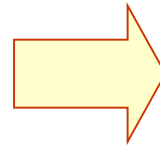
「0」部分のみ抽出



最大マッチング

手順2 割当候補の変更準備

	①	②	③	④	⑤
A	0	0			
B	0		25	15	
C	15	5	0	0	
D				15	0
E				10	0



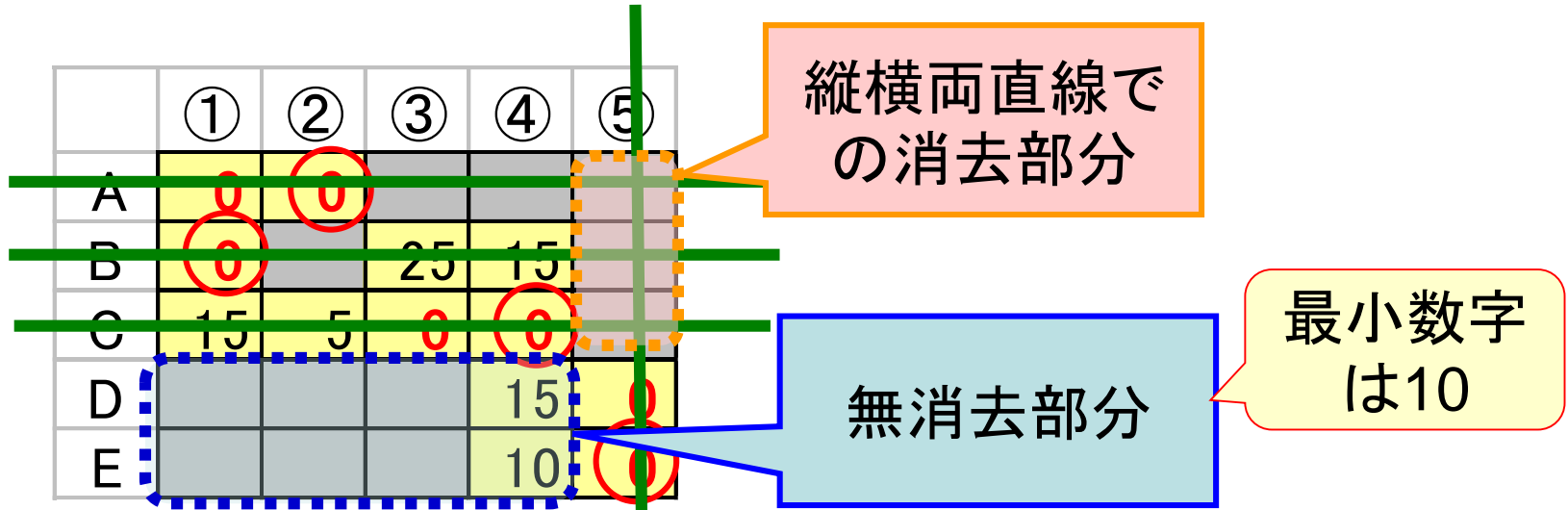
	①	②	③	④	⑤
A	0	0			
B	0		25	15	
C	15	5	0	0	
D				15	0
E				10	0

準備完了

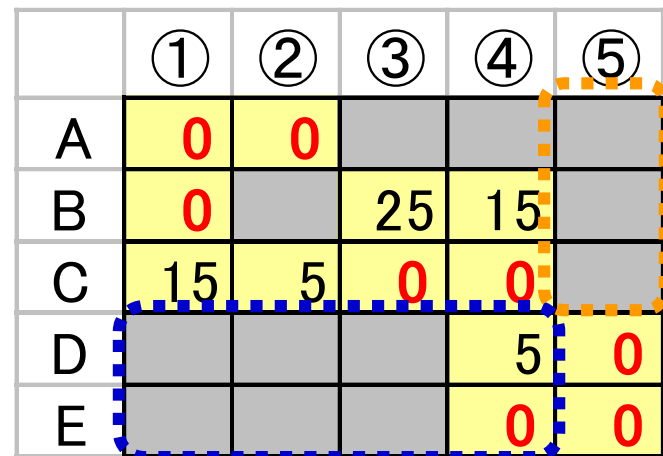
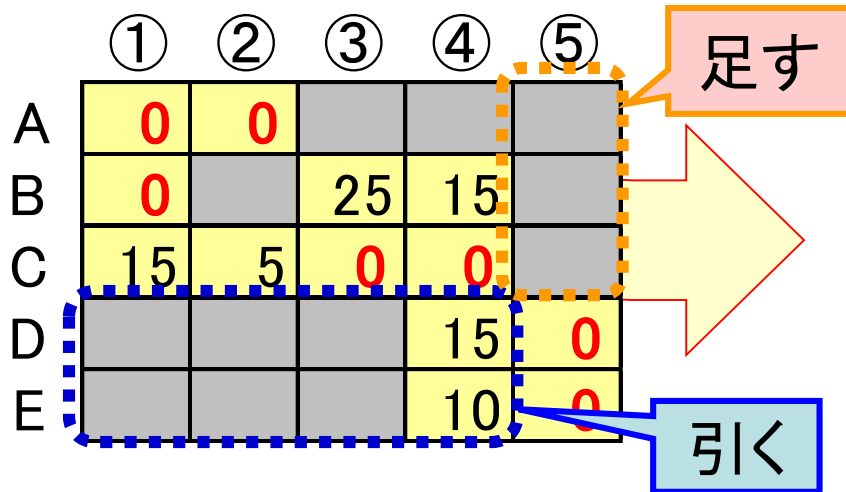
○部分から縦か横に直線を引き、
すべての「0」を線で消す

※線の引き方は複数通り存在
どれでも良い

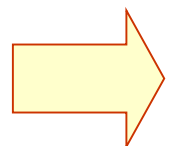
手順3 割当候補の変更



無消去部分の最小数字を



手順1へ戻る

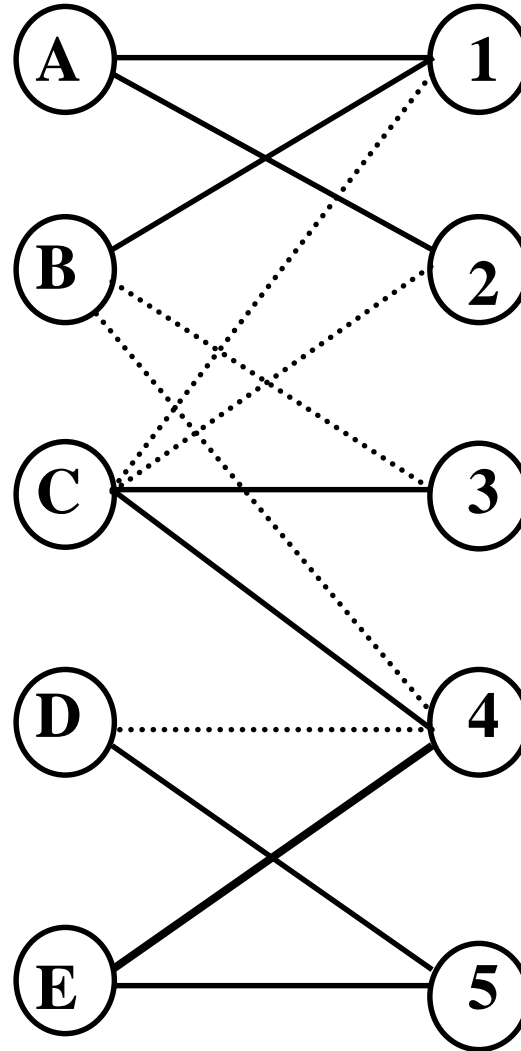


手順1 割当案の作成

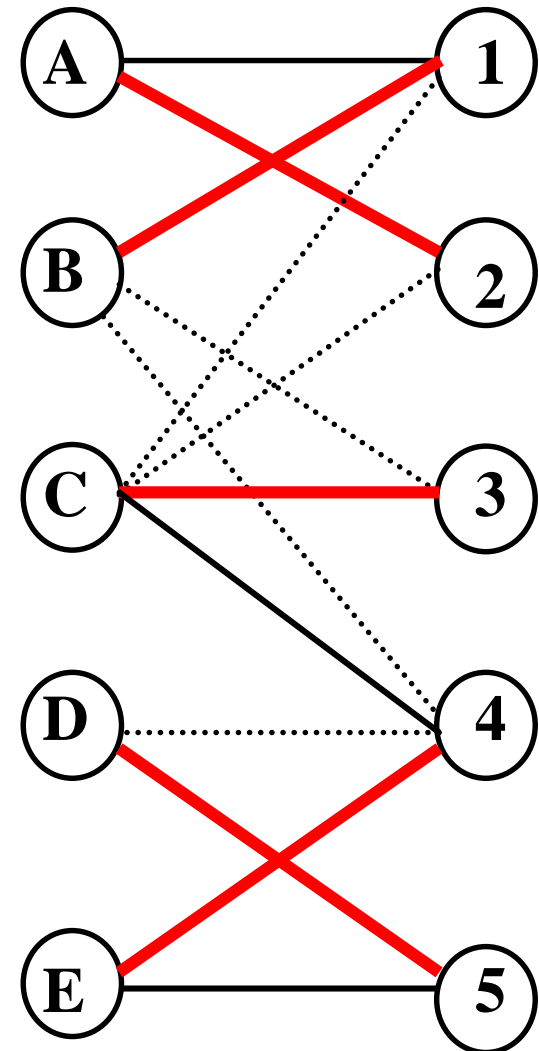
「0」部分だけで
最大マッチングを求める

	①	②	③	④	⑤
A	0	0			
B	0		25	15	
C	15	5	0	0	
D				5	0
E				0	0

	①	②	③	④	⑤
A	0	0			
B	0		25	15	
C	15	5	0	0	
D				5	0
E				0	0



「0」部分のみ抽出



完全マッチング

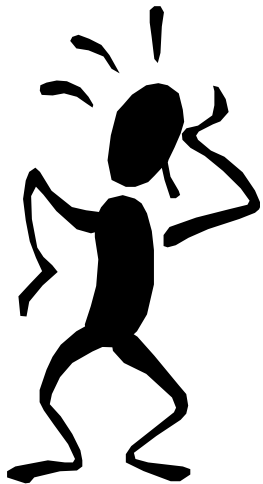
最適割当の導出

得られた割当

	①	②	③	④	⑤
A	0	0			
B	0		25	15	
C	15	5	0	0	
D				5	0
E				0	0

総コストが最小な割当
(最適割当)

	①	②	③	④	⑤
A	25	30			
B	20		70	35	
C	80	75	90	65	
D				55	40
E				60	50



どうして発見できたのだろう?

$$20+30+90+60+40=240$$

練習 ハンガリアン法で解いてみよう

(1)

	①	②	③
A	4	6	3
B	4	7	6
C	2	3	4

(2)

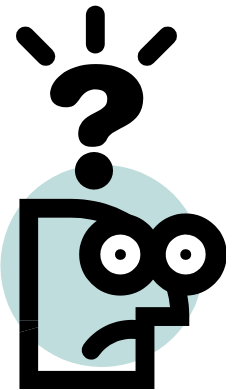
	①	②	③	④
A	15	6	9	8
B	3	13	7	6
C	9	10	5	11
D	3	5	7	11

演習4

資格の必要な4つの仕事のために4人採用した。
保有資格のランクが異なり、仕事により給料が変わる。
人件費を最小にするには誰にどの仕事を割当てる？

	仕事①	仕事②	仕事③	仕事④
Aさん	45	無資格	無資格	30
Bさん	50	55	15	無資格
Cさん	無資格	60	25	75
Dさん	45	無資格	無資格	35

(単位:万円)



演習5

ある課の課長は、5人の部下A～Eと5つの異なる仕事を持って
いるが、これらの仕事は、その仕事を行なう部下との組合せで
必要とする時間が異なってくる。今、5つの仕事をP～Tとしたと
き、A～Eが各仕事に必要なとする時間数は表のとおりである。部
下1人に1つの仕事を割り当て、全体で要する時間を最小にす
る時、時間の合計はいくらか。(国家I種, 平成9年度改題)

仕事に必要なとする時間					
	P	Q	R	S	T
A	5	5	8	5	5
B	4	5	9	7	11
C	4	4	6	6	11
D	4	3	11	8	11
E	2	3	4	6	9



応用(1) 最大化

重み和最大の割当を求めよう

	P	Q	R	S	T
A	5	5	8	5	5
B	4	5	9	7	11
C	4	4	6	6	11
D	4	3	11	8	11
E	2	3	4	6	9

応用(2) 不均衡

(1) 重み和最小の割当は？

	①	②
A	4	6
B	4	7
C	2	3

(2) 重み和最大の割当は？

	①	②	③	④
A	15	6	9	8
B	3	13	7	6
C	9	10	5	11

ここまでのまとめ

- 最大マッチングを求める
 - 市松模様で色分け可能(2部グラフ)の場合
 - 一般グラフの場合

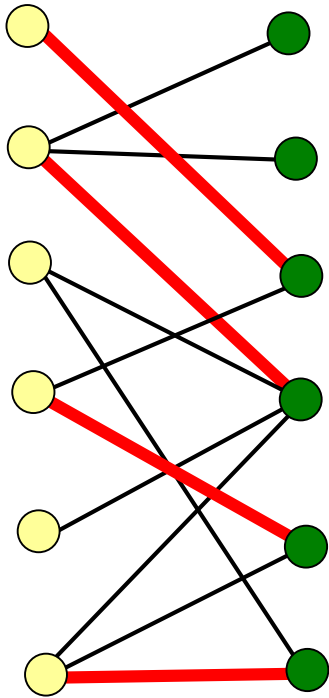
ハンガリアン法

- 割当問題 誰にどの仕事を割り当てる?

- 配属問題 ゼミの配属を決めよう
- 安定結婚問題 不満を抑えるマッチング

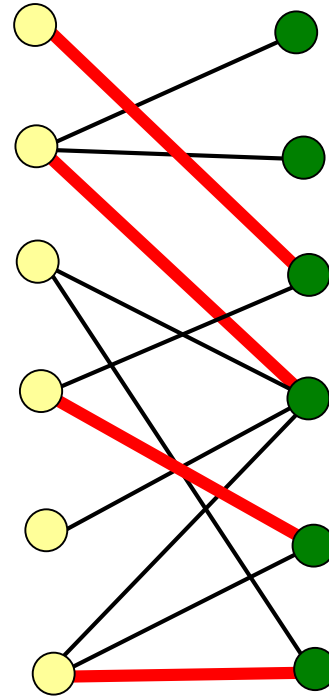
寄り道 増加道の見つけ方

奥を優先して探索



→ 奥優先探索法
Depth first search

幅を優先して探索

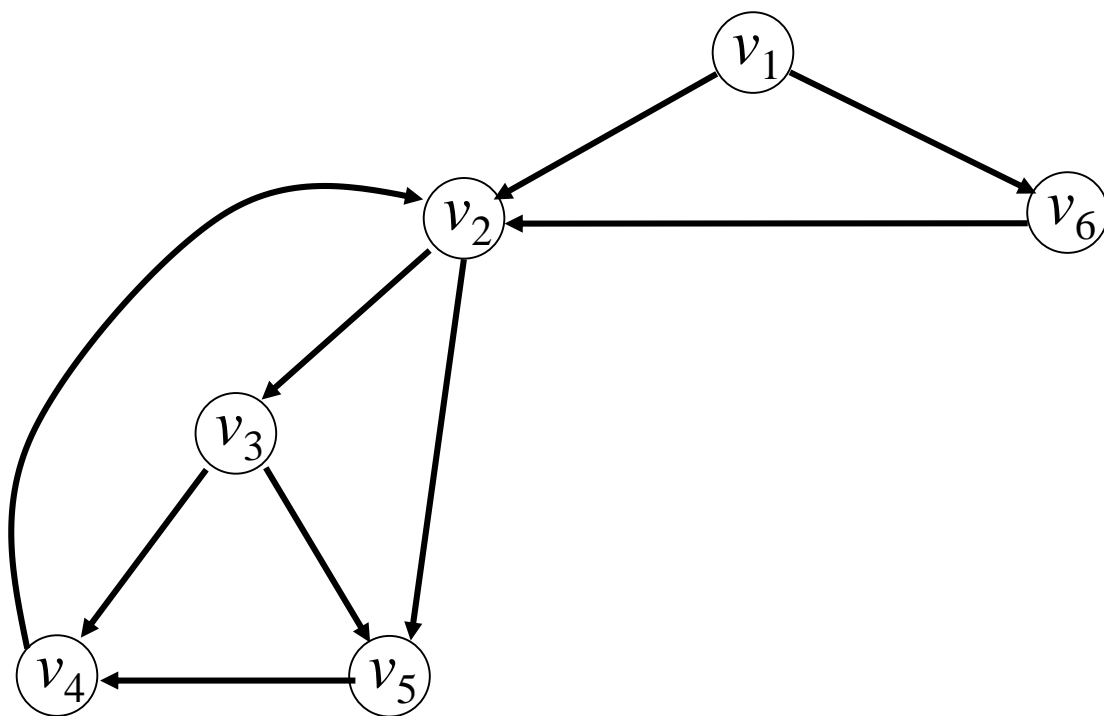


→ 幅優先探索法
Width first search

より一般的に捉えると...

グラフの探索

グラフ上のすべての点と枝を走査すること



効率の良いグラフの探索方法

奥優先探索

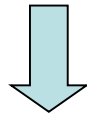
Depth-first search

幅優先探索

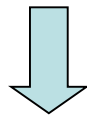
Width-first search

Step1: 出発点にラベル付ける

以下のStep2, 3を未探索枝がなくなるまで繰り返す。



Step2: 最新ラベルを持つ点
から未探索枝を走査



Step3: 枝の終点にラベルが無いならラベルを付け



Step2: 最古ラベルを持つ点
から未探索枝を走査

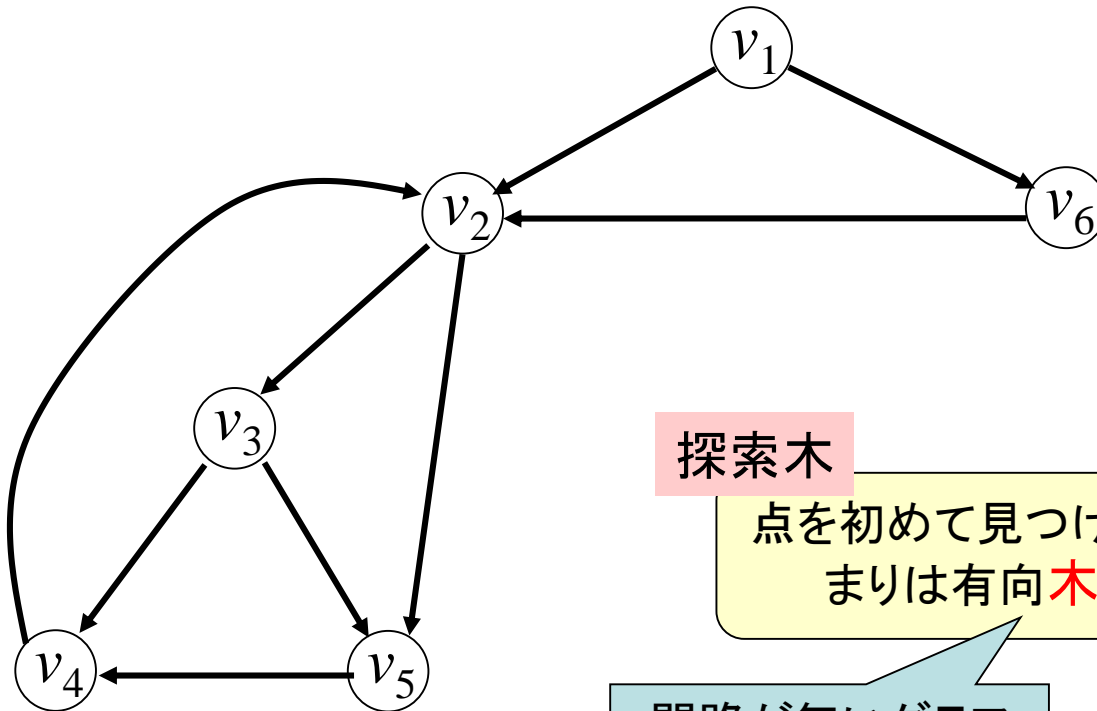


Step3: 枝の終点にラベルが無いならラベルを付け



例1 奥優先探索を試みよう

出発点： v_1

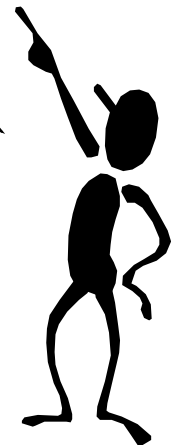


探索木

点を初めて見つけた枝の集まりは有向木になる

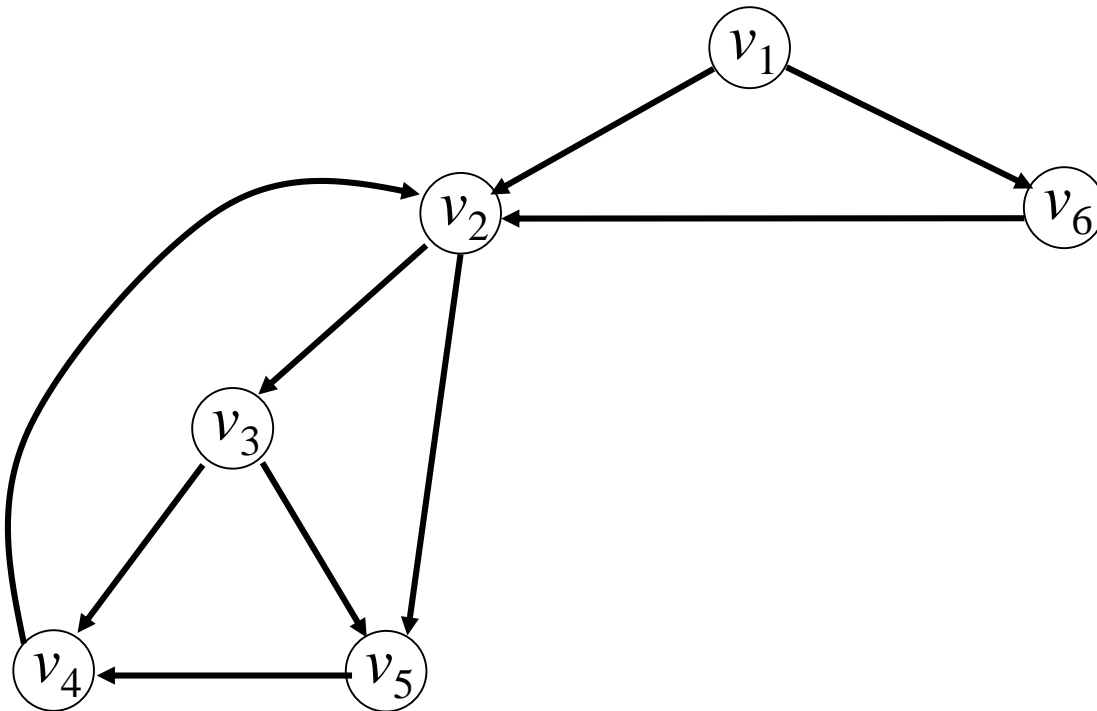
閉路が無いグラフ

探索木は有益な情報を提供することが多い



例2 幅優先探索を試みよう

出発点: v_1



探索木は?

探索木利用 点への順序付け

- **前順**(先行順: pre order)
 - ラベルと同時に番号付け
- **後順**(後行順: post order)
 - 親の点に戻るときに番号付け

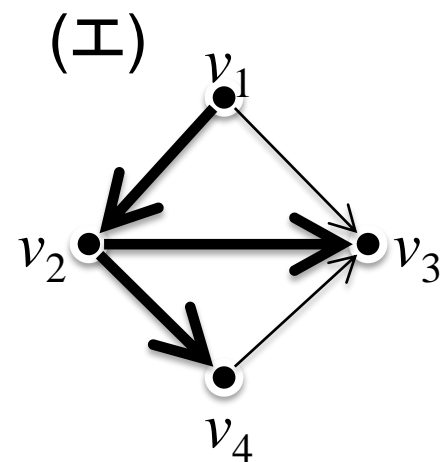
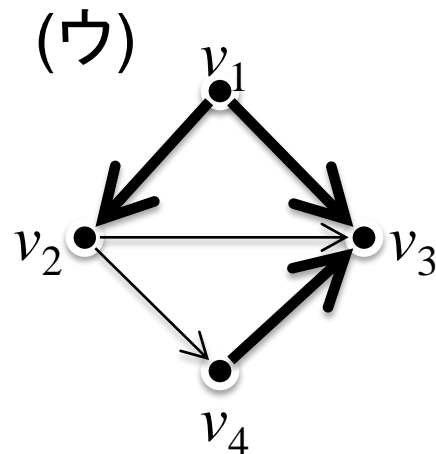
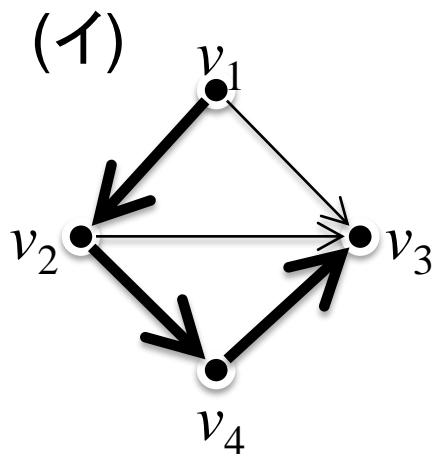
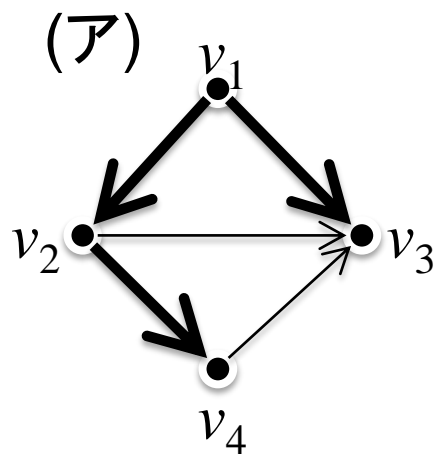
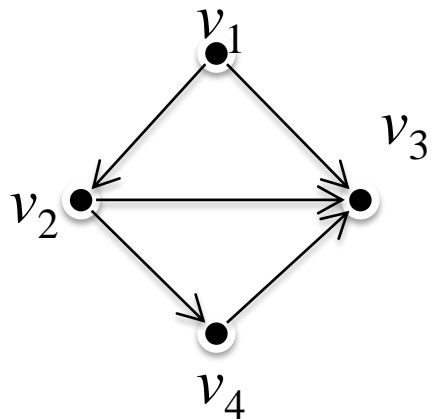


他にも
中間順 (in order)
幅優先順 (breadth-first order)
などがある

クイズ1

1: 深さ優先探索をした場合の探索木はどれ?(すべて求めよ)

2: 幅優先探索をした場合の探索木はどれ?(すべて求めよ)



クイズ2

1: 深さ優先探索をした場合の探索木はどれ?(すべて求めよ)

2: 幅優先探索をした場合の探索木はどれ?(すべて求めよ)

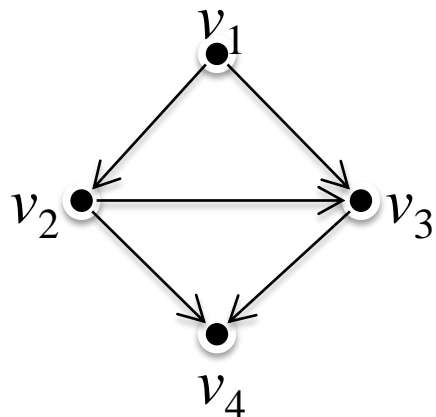
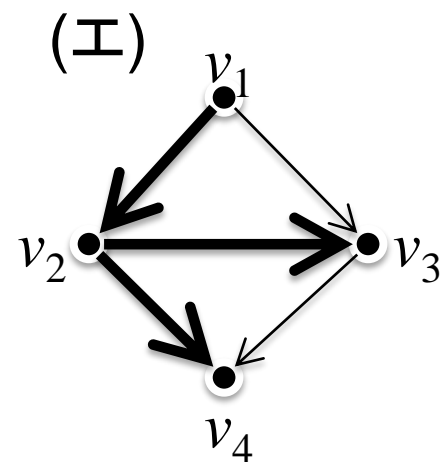
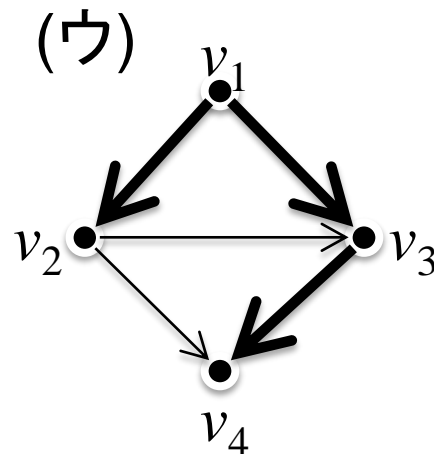
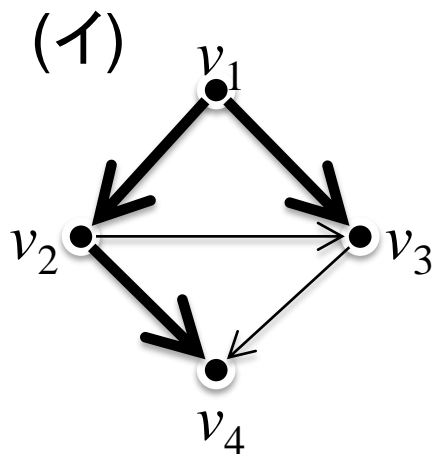
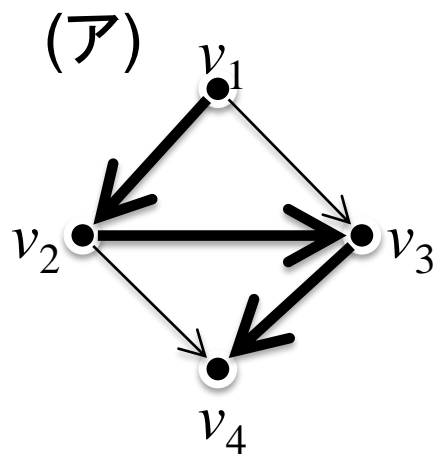
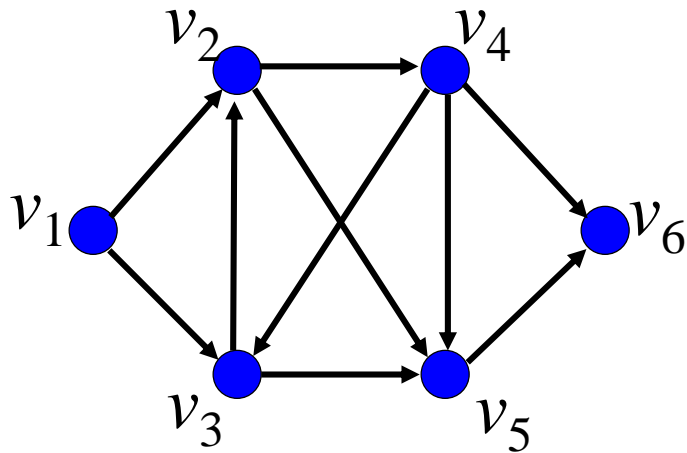


図1: 有向グラフ



演習6 グラフの探索



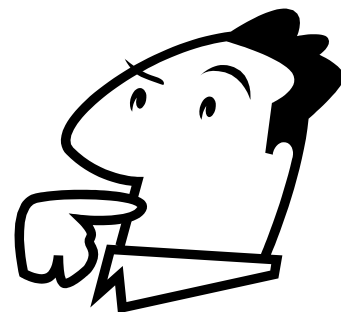
出発点： v_1 として右のグラフを以下の方法で探索せよ.

- (1) 奥優先探索
- (2) 幅優先探索

また、各々の探索木を示せ.

(3) 奥優先探索での探索木を利用し、各点に前順・後順を各々付けてみよう。

おまけ: マッチされる・されない



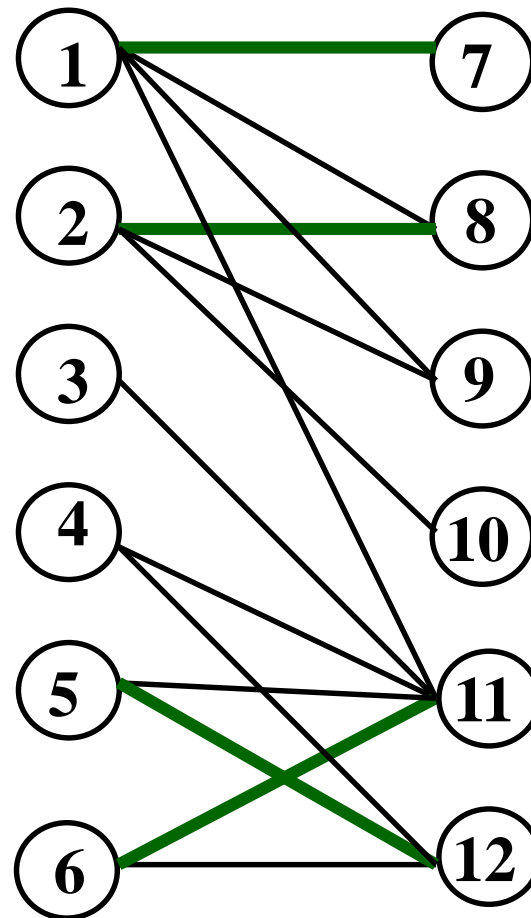
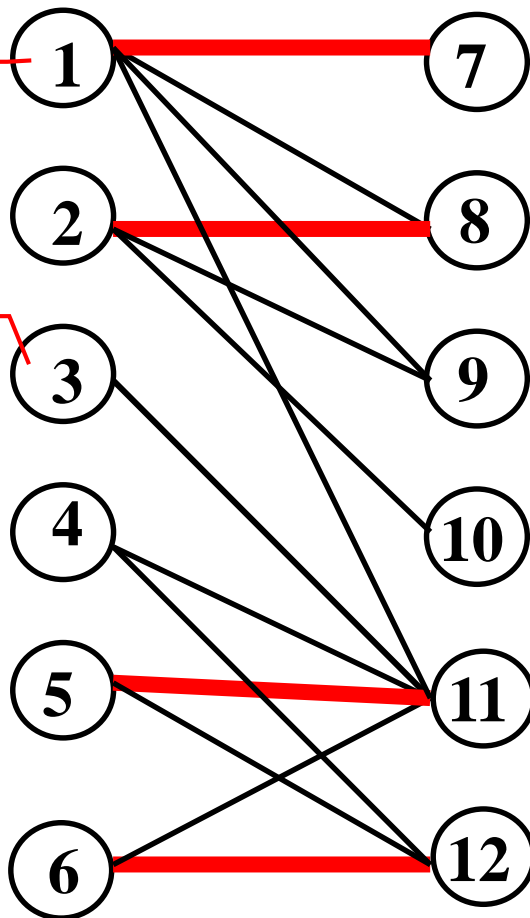
最大マッチングの時...

いつでも
マッチされる

いつでも
マッチされない

どうして
いつでも?

他の要素は,
マッチされる?
されない?



→ 詳しくは、「グラフの分解」にて