

# システム環境情報学特論

Informatics for Systems and Environment

## 時間と空間の表現について

北海道大学大学院情報科学研究科  
システム情報科学専攻

担当 小野里 雅彦



## 対象世界の枠組みとしての時空間



### ■ 対象の存在する枠組み

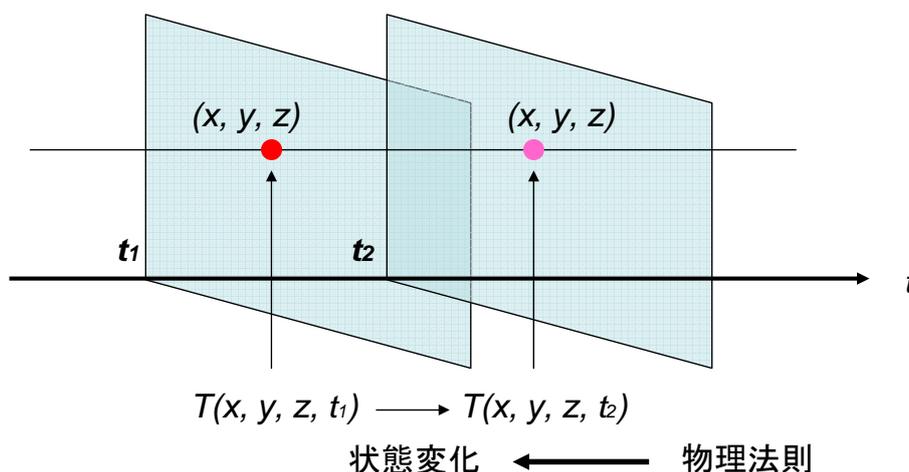
$$= \underline{\text{空間}} \times \underline{\text{時間}}$$

ソリッドモデラ  
CAD  
コンピュータグラフィックス  
GIS  
.....

スケジューラー  
タイマー  
オペレーションプランニング  
データロガー  
.....

# 物理世界記述のスキーマ

- 記述の枠組みとしての空間+時間(時空間)
- 時空間の部分空間を占有する物質
- 時空間の各点に定義される属性(状態)

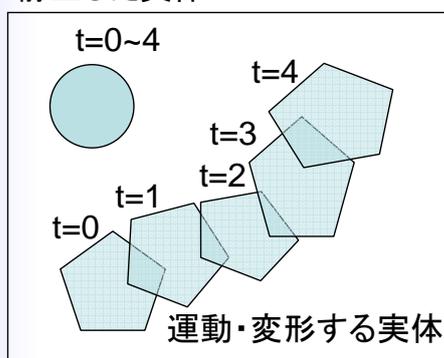


北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

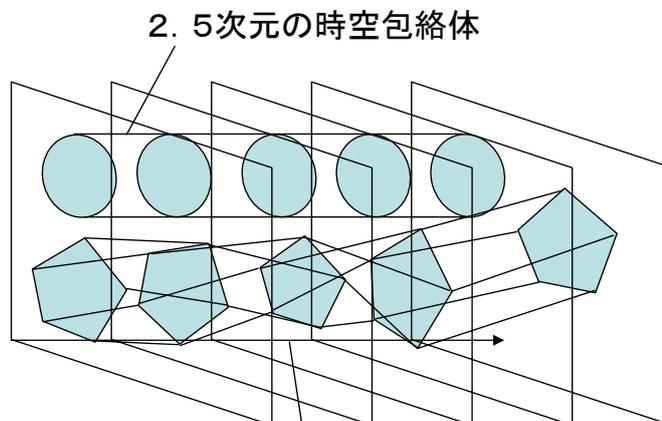
# 時空間と実体の運動

## 空間を2次元に縮退した例

静止した実体



空間2次元

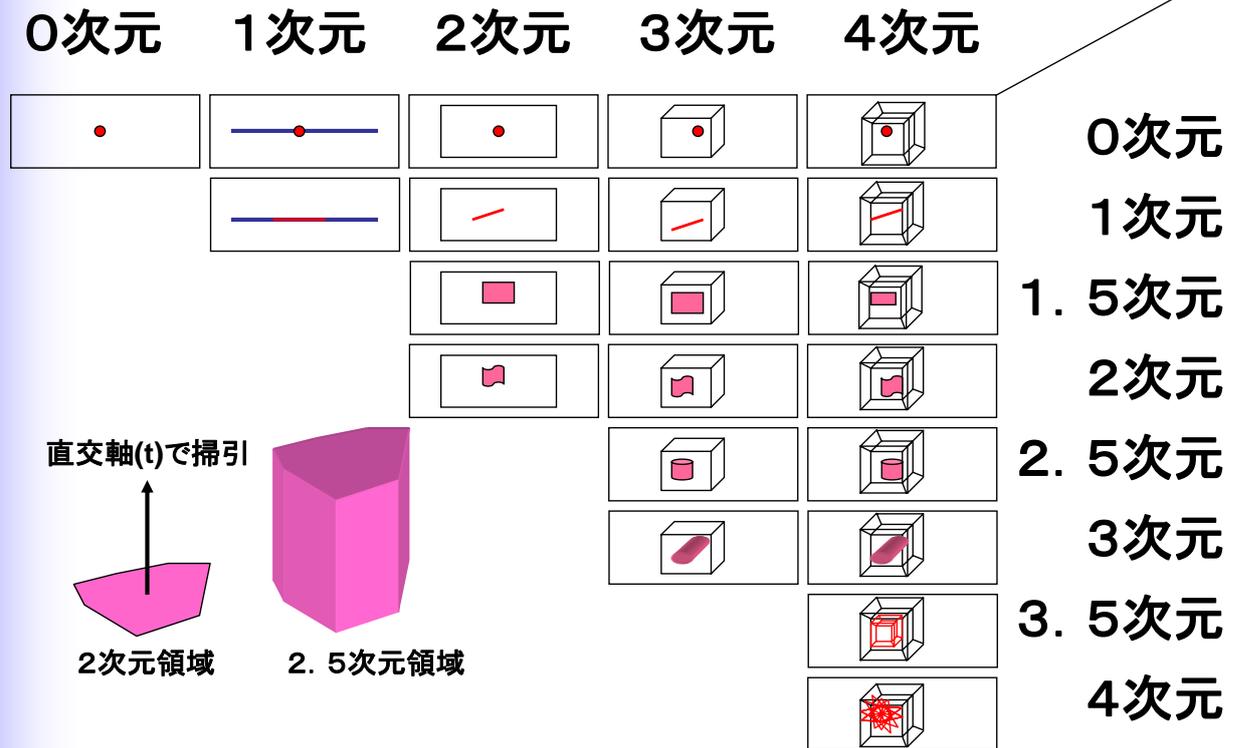


3次元の時空包絡体

空間2次元+時間1次元

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# 空間の次元と部分空間の表現



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# 形状表現における抽象立体

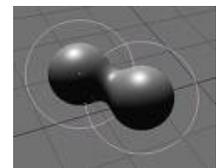
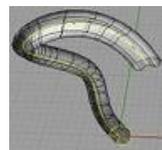
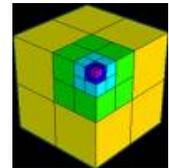
抽象立体: 物理的な立体を数学モデルとして扱う

- 剛性(rigidity)
  - 位置や向きに依存しない不変な形状
- 同次3次元性(homogeneous three dimensionality)
  - 孤立点や浮遊点を持たない
- 有限性(finiteness)
  - 空間の有限部分を占有
- 閉包性(closure)
  - 各種の操作によっても立体を保持(正則集合演算)
- 有限記述可能性(finite describability)
  - 頂点, 稜線, 面などが有限(半解析集合)
- 境界決定主義(boundary determinism)
  - 立体の境界は内部(閉多様体)

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# 形状表現の主要なスキーマ

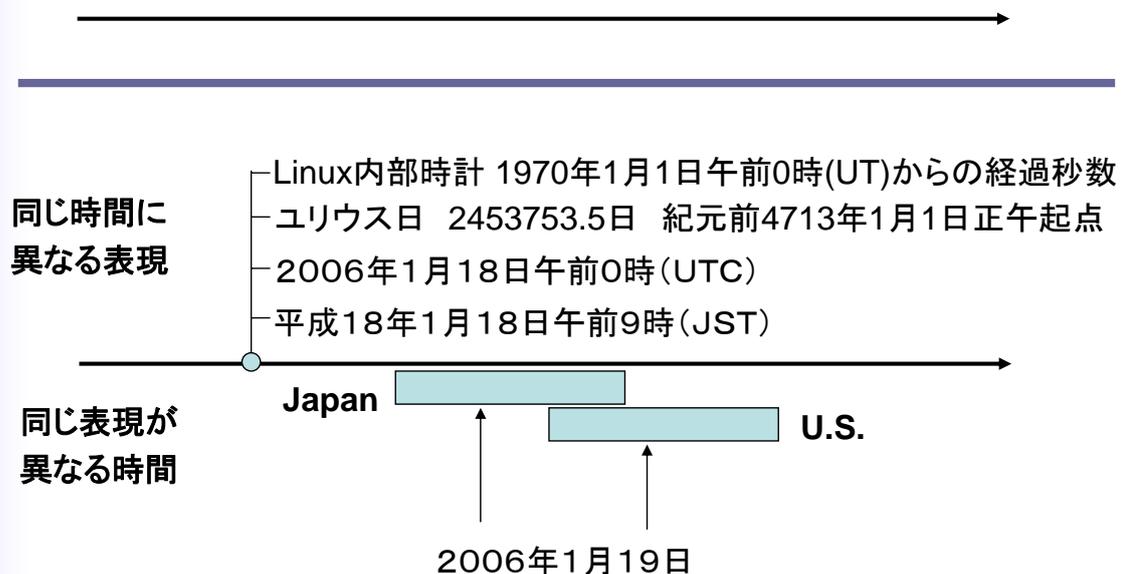
- A.A.G. Requichaによる7分類
- プリミティブ具体形スキーマ  
ex. 積み木
- 占有空間計数化スキーマ  
ex. Octree
- 胞体分割スキーマ  
ex. 有限要素法 4面体分割
- CSGスキーマ  
ex. 基本形状の集合演算木
- 掃引スキーマ  
ex. 2(3)次元形状の掃引
- 補間スキーマ  
ex. メタボール
- 境界表現スキーマ  
ex. 頂点—稜線—面—立体



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# 時間について

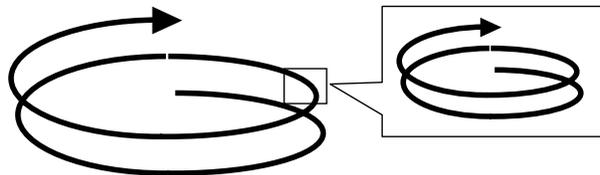
時間軸 = 実数軸？



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# 時間と空間の違い

- 時間は1次元, 空間は3次元
- 時点は時間軸を前後に分割する
  - 立体は空間を内・外に分割
- 時間は「形状」を持たないが, 「パターン」はある  
■■■■■■
- 時間の構造には周期性がある(昼・夜など)
- 時間には全体-部分関係の構造がある(年・月・日など)

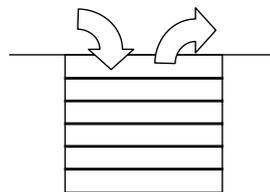


北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# 時間の表現のいろいろ

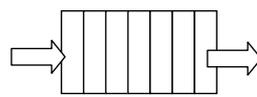
タイムスタンプ 12:11:56

スタック



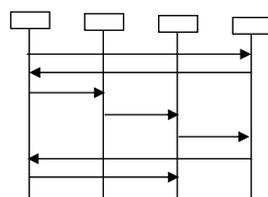
LIFO

キュー

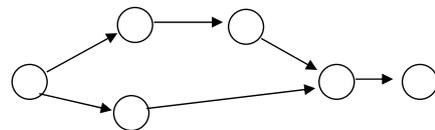


FIFO

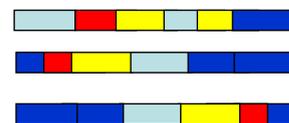
タイミング  
チャート



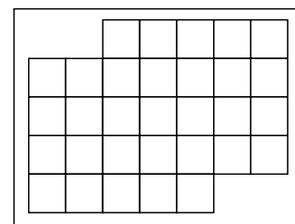
半順序  
グラフ



ガント  
チャート



カレンダー



数式

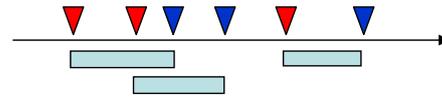
$$T2 < T1 + 30$$

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# 時間表現の対比

## ■ 時間点 - 時間区間

- イベント - 状態



## ■ 絶対的 - 相対的

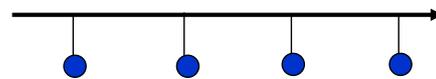
- 12時35分 - 開門20分前

## ■ 定量的 - 定性的

- 25分短い - 短い

## ■ 連続的 - 離散的

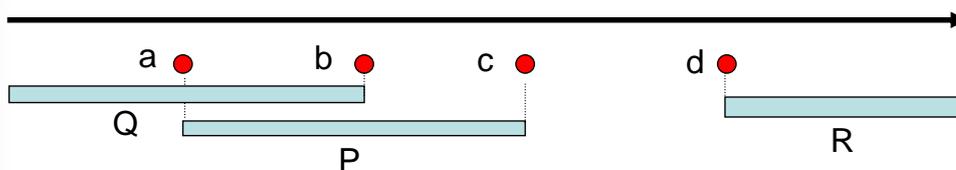
- 56秒4535.... - 56秒



## ■ 確定的 - 選択的

- AとBの関係はR1 - AとBの関係はR1かR2

# 時点と時間区間



時間区間 = 2つの時点に挟まれた区間

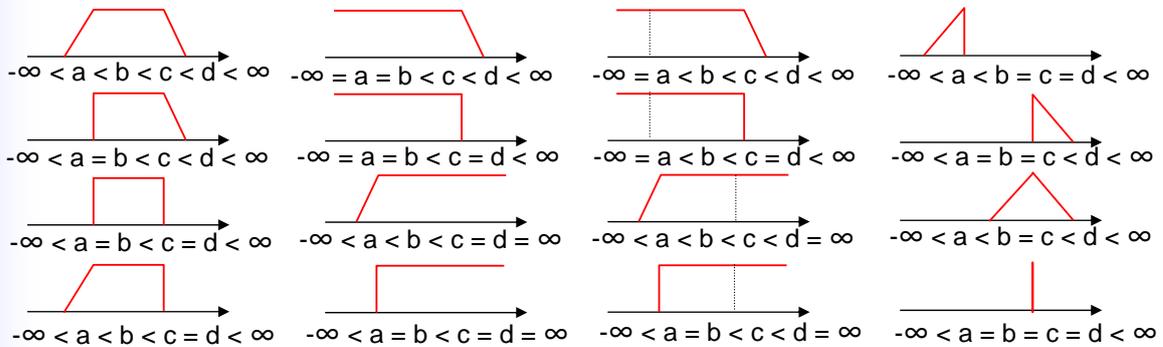
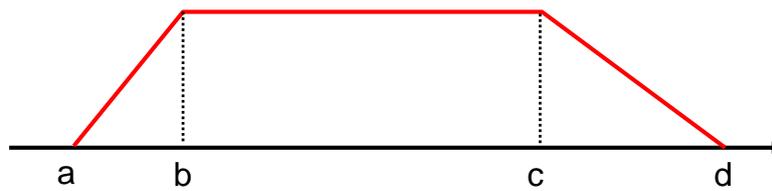
時点 = 時間区間の端点

時間長 = 時点間の距離  
時間区間の長さ

時間の3つのパラメータ

$$\langle \text{終点の時刻} \rangle - \langle \text{始点の時刻} \rangle = \langle \text{時間区間長} \rangle$$

# 時空間DBでの区間表現例



1. 存在過程

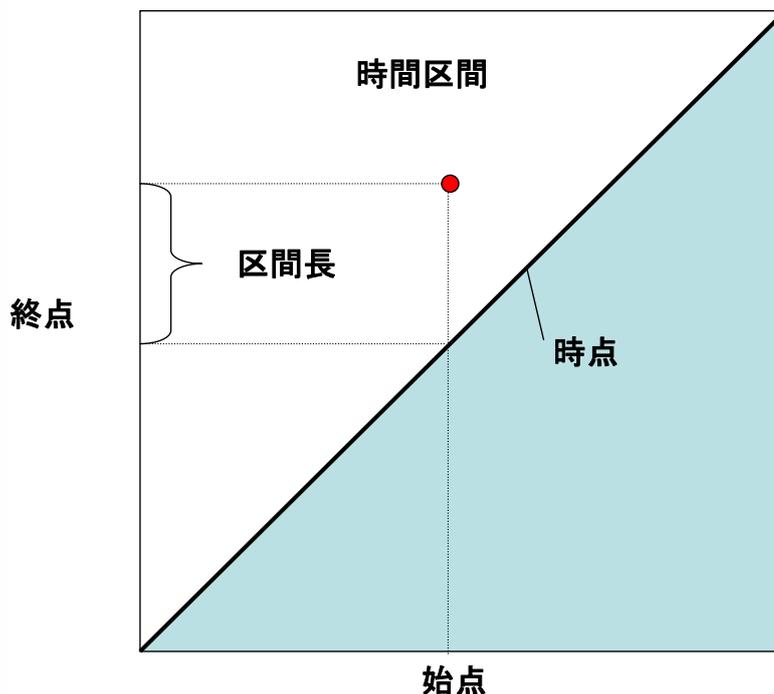
2. 存在可能性

解釈の例

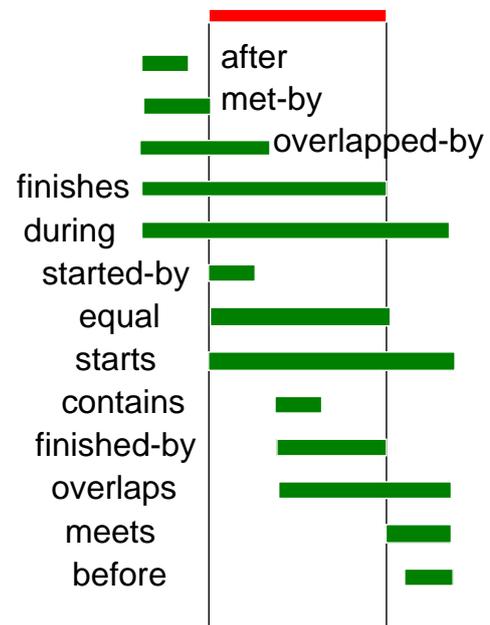
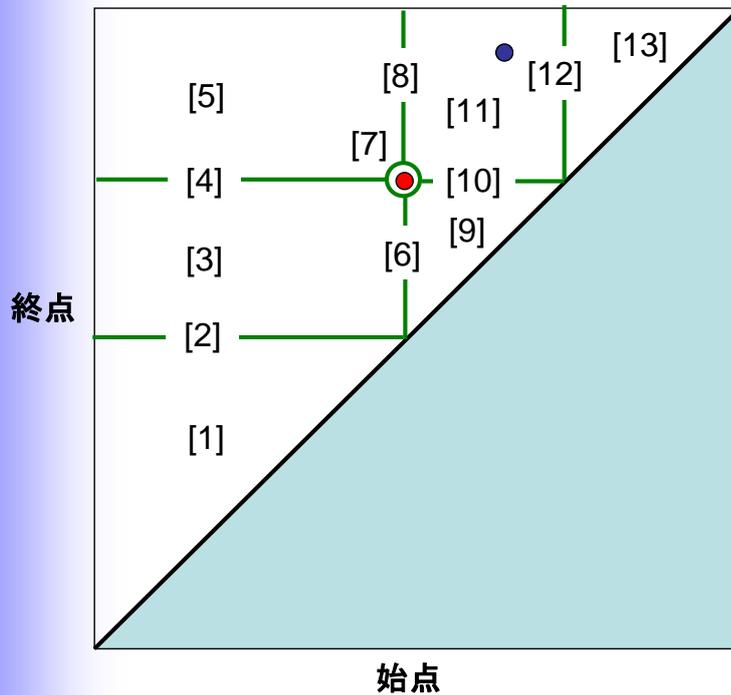
- [a b] 状態発生過程
- [b c] 状態継続
- [c d] 状態消滅過程

- [a d] 状態存在可能
- [b c] 状態存在確定

# 時間に関する2次元表現

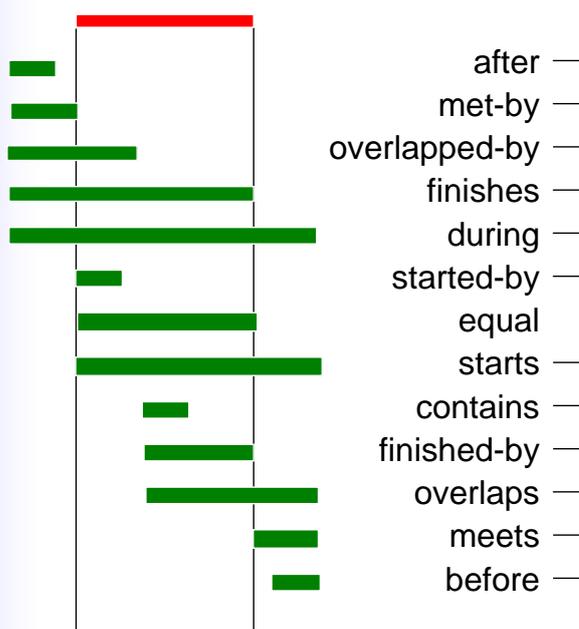


# 時間区間の相対的關係



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# J.F.Allenの13の定性的關係



逆の關係

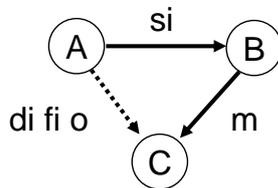
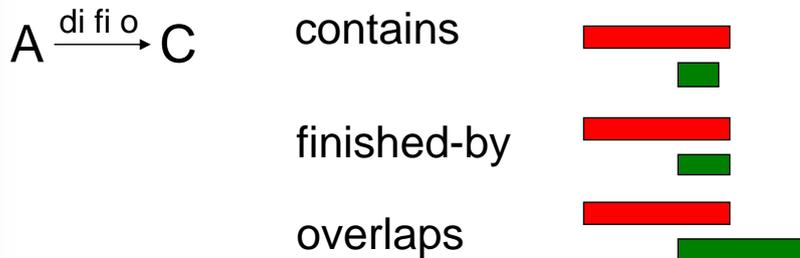
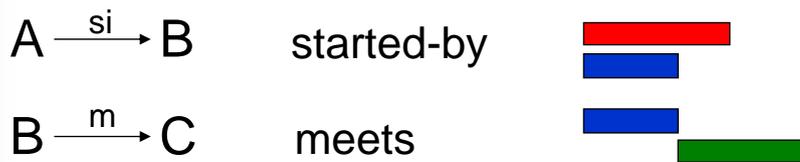
>	A $\xrightarrow{s}$ B
mi	
oi	A $\xleftarrow{si}$ B
f	
d	=
si	<   >
=	m   mi
s	s   si
c	f   fi
fi	o   oi
o	d   di
m	
<	

J.F. Allen: "Maintaining knowledge about temporal intervals"  
 Communications of the ACM, Vol. 26, No. 11 pp. 832 - 843 ,Nov. 1983

<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=182.358434>

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

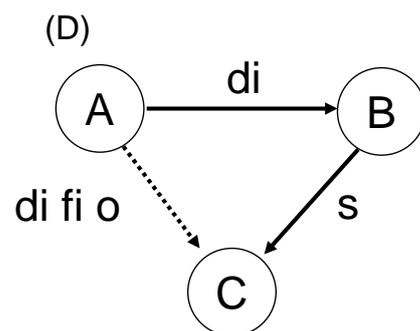
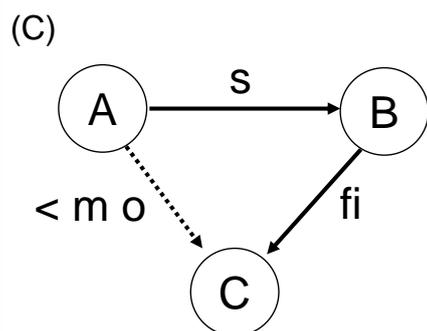
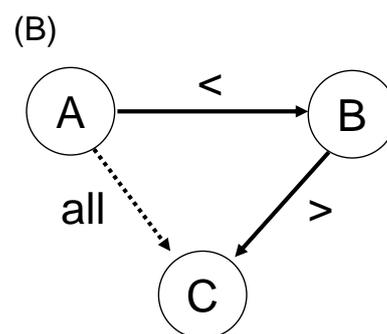
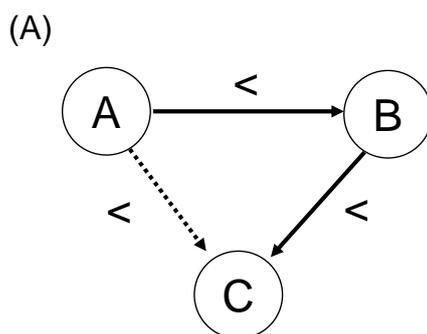
# J.F.Allenの時間区間整合性管理



$$T(si, m) = \{di, fi, o\}$$

定性区間関係の遷移律

# 遷移律の練習



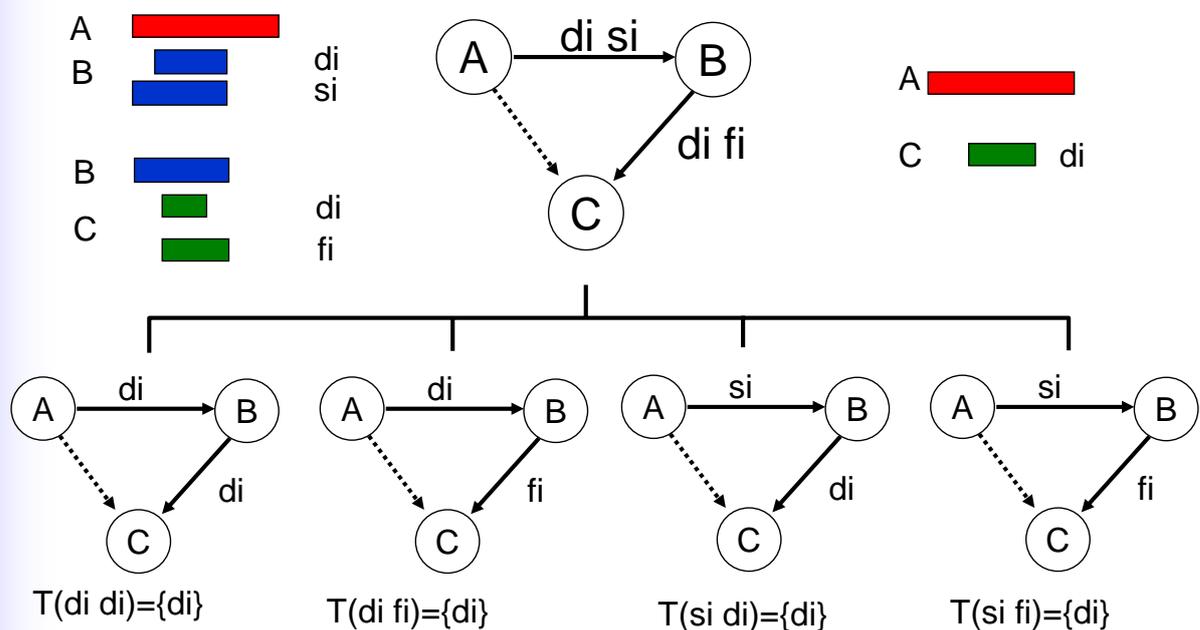
# 遷移律表の作成

B r2 C	<	>	d	di	o	oi	m	mi	s	si	f	fi
A r1 B												
"before"	<	no info	< o m d s	<	<	< o m d s	<	< o m d s	<	<	< o m d s	<
"after"	no info	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	>	>
"during"	<	>	d	no info	< o m d s	> oi mi d f	<	>	d	> oi mi d f	d	< o m d s
"contains"	< o m di fi	> oi di mi si	o oi dur con =	di	o di fi	oi di si	o di fi	oi di si	di fi o	di	di si oi	di
"overlaps"	<	> oi di mi si	o d s	< o m di fi	< o m	o oi dur con =	<	oi di si	o	di fi o	d s o	< o m
"overlapped-by"	< o m di fi	>	oi d f	> oi mi di si	o oi dur con =	> oi mi	o di fi	>	oi d f	oi > mi	oi	oi di si
"meets"	<	> oi mi di	o d	<	<	o d	<	f fi	m	m	d s	<

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# 不確定な定性関係

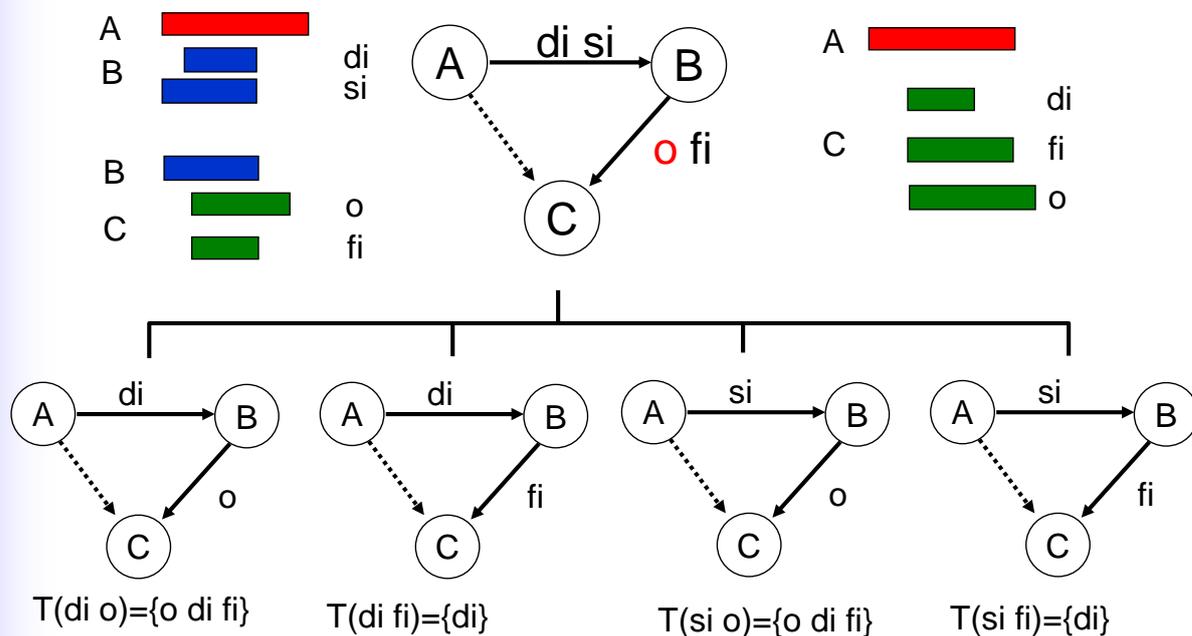
時間区間の間の定性関係が1つに特定されていない場合(1)



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

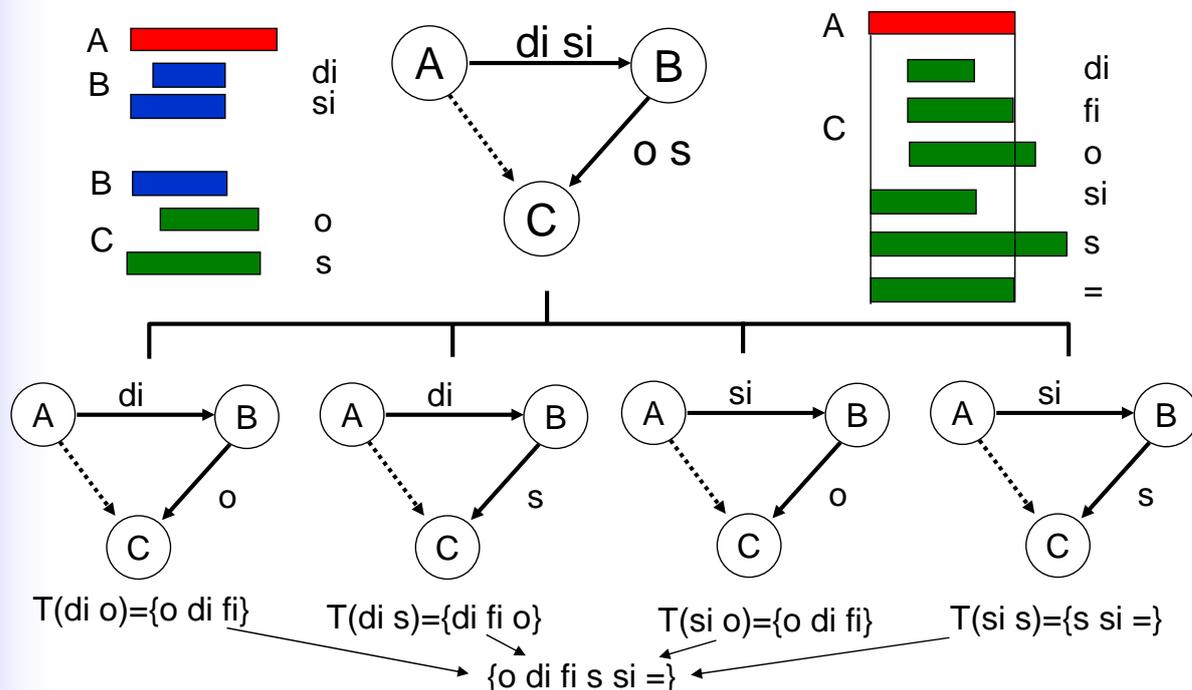
# 不確定な定性関係

時間区間の間定性関係が1つに特定されていない場合(2)

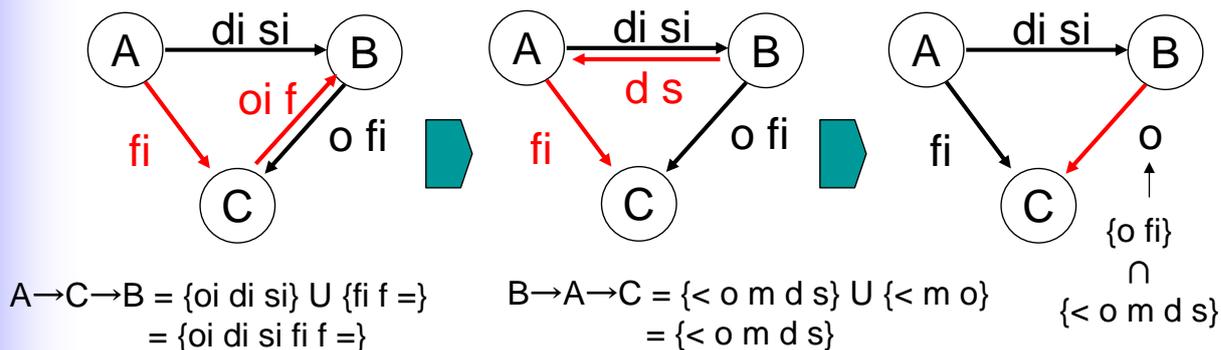
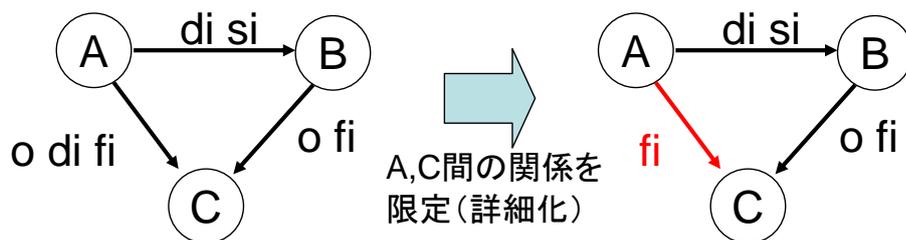


# 不確定な定性関係

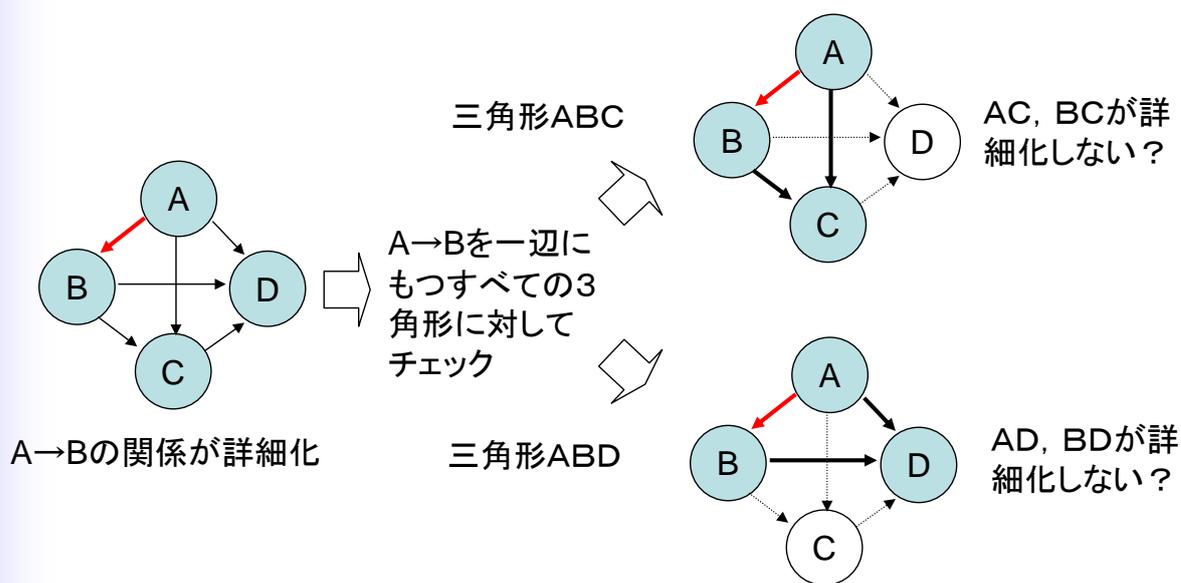
時間区間の間定性関係が1つに特定されていない場合(3)



# 関係の更新



# ネットワークの整合性管理

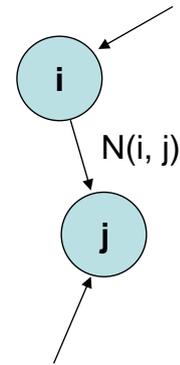


N個のノード(時間区間)があれば, ある一辺を辺にもつ三角形はN-2個, ネットワークに存在.

# 整合性管理手法

## 【準備】

- 時間区間: ノード  $i, j$
- ノード  $i, j$  の間の関係のラベル  $N(i, j)$   
たとえば,  $\{0 < fi\}$
- 関係のリスト:  $R_i, R_j$   
たとえば,  $R_i = \{0 < fi\}$
- $C(R_1, R_2)$ : 関係のリストの間の遷移関係  
例えば,  $C(\{di si\}, \{0 fi\}) = \{0 di fi\}$
- $\langle i, j \rangle$  : ノード番号  $i, j$  の順序対



# 整合性管理手法

## Allenの定性関係ネットワークの制約伝播アルゴリズム

To Add  $R(i, j)$

Add  $\langle i, j \rangle$  to queue ToDo;

While ToDo is not empty do

begin

Get next  $\langle i, j \rangle$  form the queue ToDo;

$N(i, j) \leftarrow R(i, j)$ ;

For each node  $k$  do

begin

$R(k, j) \leftarrow N(k, j) \cap C(N(k, i), R(i, j))$ ;

if  $R(k, j) \subset N(k, j)$

then add  $\langle k, j \rangle$  to ToDo;

end

For each node  $k$  do

begin

$R(i, k) \leftarrow N(i, k) \cap C(N(i, j), R(j, k))$ ;

if  $R(i, k) \subset N(i, k)$

then add  $\langle i, k \rangle$  to ToDo;

end

end

# 制約伝播処理の例

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		so	<	m	<	<	m	s mo d <	s mo d <
2	so		m <	o	<	<	o	s mo d <	s mo d <
3		m <		d	<	<	d	f	fi f m d =
4	m		d		<	<	s	si oi di	conflict
5				<		s mo	mi	>	proc.
6					s mo		mi >	>	proc.
7	m				mi			si oi di	conflict
8			f						fi m d
9								fi m d	

conflict: s si f fi o oi = d di      proc.: > d oi mi f

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# ネットワークの矛盾と停止

時間区間の間の取り得ない関係 → 定性的関係の集合が空  $\phi$

$$A < B < C < D < E$$

$$E < A$$

↓  
与えられた時間区間の定性関係に矛盾が含まれている

整合性管理手法は必ず停止するのか？

無限ループに入らないか？

1つのアーク(時間区間の関係)の書き換えは、  
高々回しか起こらない。

13すべてに可能性 → 12の可能性 → …… → 2つ可能性 → 1つに特定

アークの数  $nC_2 \times 12 \rightarrow$  有限回数

# 制約伝播アルゴリズムの応用

- 2つの要素の間に成り立つ定性関係がすべて列挙できる
- 同時に2つの定性関係が成立しない
- 2つの要素間には必ずどれかの定性関係が成立する

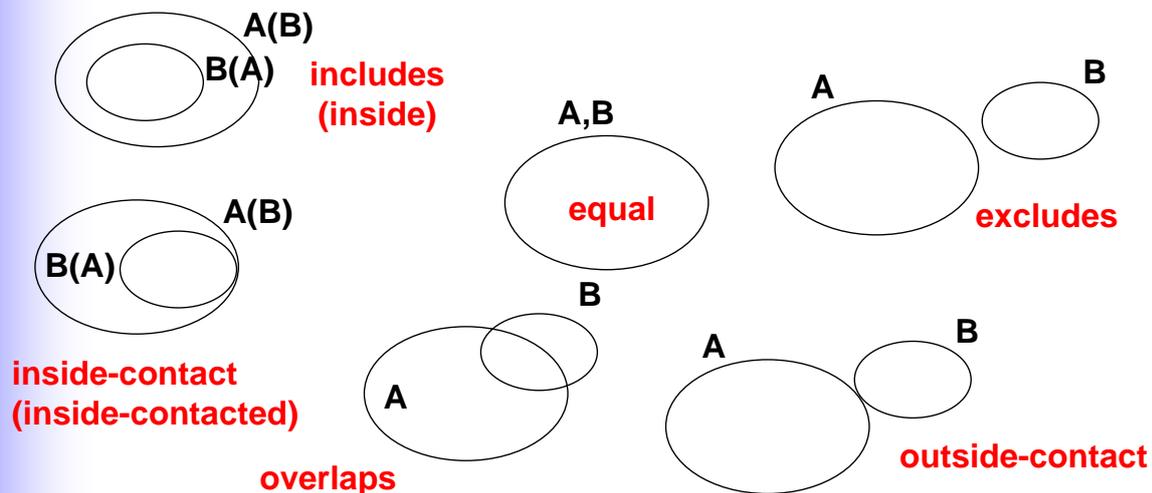
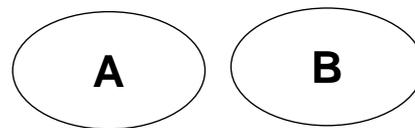


遷移律表の作成と制約伝播アルゴリズムの適用可能

不確定な情報(定性的, 選択的)であっても推論を行い, 新たな事実を導くことができる!

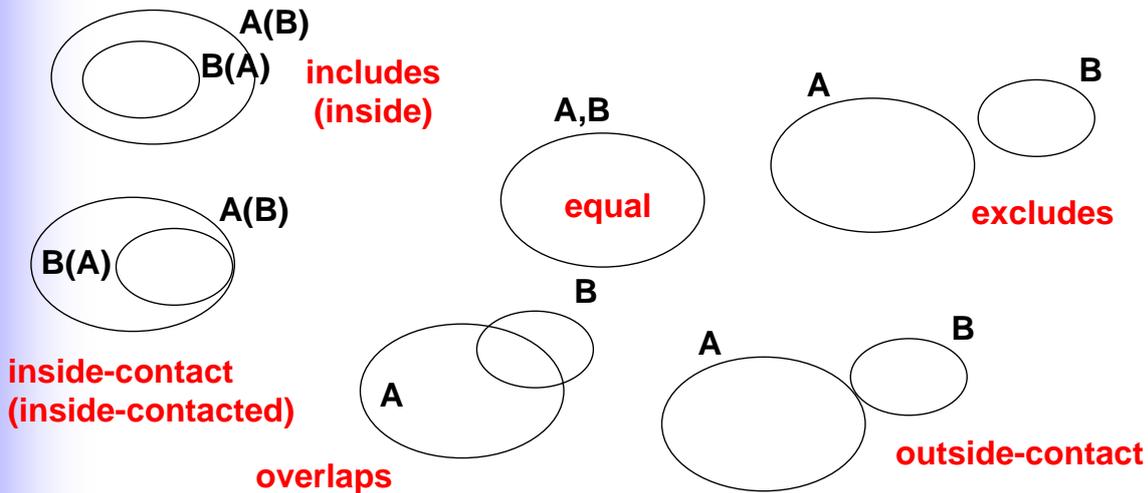
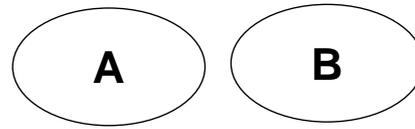
## 応用問題

空間の2つの部分空間の間に成立する定性関係を列挙して, 遷移律表を作成してみよ.



# 空間領域の包含・接触関係

空間の2つの部分空間の間に成立する定性関係を列挙して、遷移律表を作成してみよ。



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# 時間区間と空間領域の組み合わせ

空間領域の定性関係 × 時間区間の定性関係

→ 3. 5次元の時空領域の定性関係

TIME \ SPACE	before	meets	overlaps	finished-by	contains	started-by	equal	...
exclusive								...
outside-contact								
overlap								
inside-contact								
inside								
equal								

(時間 13 関係 × 空間 8 関係 = 104 関係のうちの一部)

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)