

日立と一緒に計算機の世界を変えよう!

◎ 株式会社 日立製作所 研究開発グループ
基礎研究センタ 日立北大ラボ



◎ 株式会社 日立製作所 研究開発グループ
基礎研究センタ 日立北大ラボ

複雑化する社会システムの最適化に向けて 「日立北大ラボ」がめざすこと

交通渋滞の解消や物流コストの最小化、電力送電網による安定したエネルギー供給など、複雑化する社会システムの課題解決には、全体最適となる組み合わせを見いだすことが重要です。しかし、社会システムが複雑化すると、システムを記述するパラメータとその組み合わせが爆発的に増大し、最適なパラメータを決定することが困難になります。この問題は組み合わせ最適化問題と呼ばれており、日立ではこの問題を効率よく解く技術として、イジングコンピュータを開発しました。複雑化する社会システムの最適化に向けて、日立北大ラボは個別テーマを超えた組織対組織の新しい協創をめざしています。



日立は、大学が有する豊かなイノベーション資源（知識・ネットワーク）と密に連携するため、2016年、国内3大学に日立北大ラボ、日立東大ラボ、日立京大ラボを開設しました。日立北大ラボでは、課題先進地域の特性を活用したソリューションの社会実証をめざし、「エリアデザイン・北極域」「北大COI*・食と健康の達人」「社会創造数学」の3テーマの研究を推進しています。

課題先進地域の特性を活用したソリューションの社会実証

北海道の地域課題解決をめざし社会実験・協創を加速

エリアデザイン・北極域

気候、経済変動予測
寒冷地の都市デザイン学



北極域研究センター

北大COI・食と健康の達人

健康コミュニティシステム
地域の自律的健康管理を支援



FMI国際拠点

社会創造数学

複雑な社会を数学モデル化
最適化問題をリアルタイムに解く



電子科学研究所



*文部科学省、国立研究開発法人科学技術振興機構が実施している「革新的イノベーション創出プログラム」(COI STREAM)にて推進されているものです。
•COI: センター・オブ・イノベーション •FMI: フード&メディカルイノベーション

組み合わせ最適化問題とは

組み合わせ最適化問題とは、さまざまな制約のもとで多くの選択肢から、ある指標(価値)を最もよいものにする変数の値(組み合わせ)を求めることです。最適化問題を解くことは、日常生活のさまざまな場面で皆さんも経験しています。子どものときの遠足の菓子選び(菓子選択問題)を思い出してみましょう。



菓子選択問題を具体的に考えてみよう

問題 五つの菓子(チョコ、ガム、クッキー、ポテトチップス、グミ)の値段と満足度が与えられています。予算300円で満足度が最大となる組み合わせを求めなさい。

ヒント 変数 $x_1, x_2, \dots, x_5 \in \{0, 1\}$, 0: 選択しない, 1: 選択する を導入して菓子選択問題を数式で表現してみよう。

- 価値最大化(満足度) $10x_1 + 3x_2 + 4x_3 + 8x_4 + 7x_5$
- 制約(決められた総額) $120x_1 + 30x_2 + 90x_3 + 150x_4 + 120x_5 \leq 300$

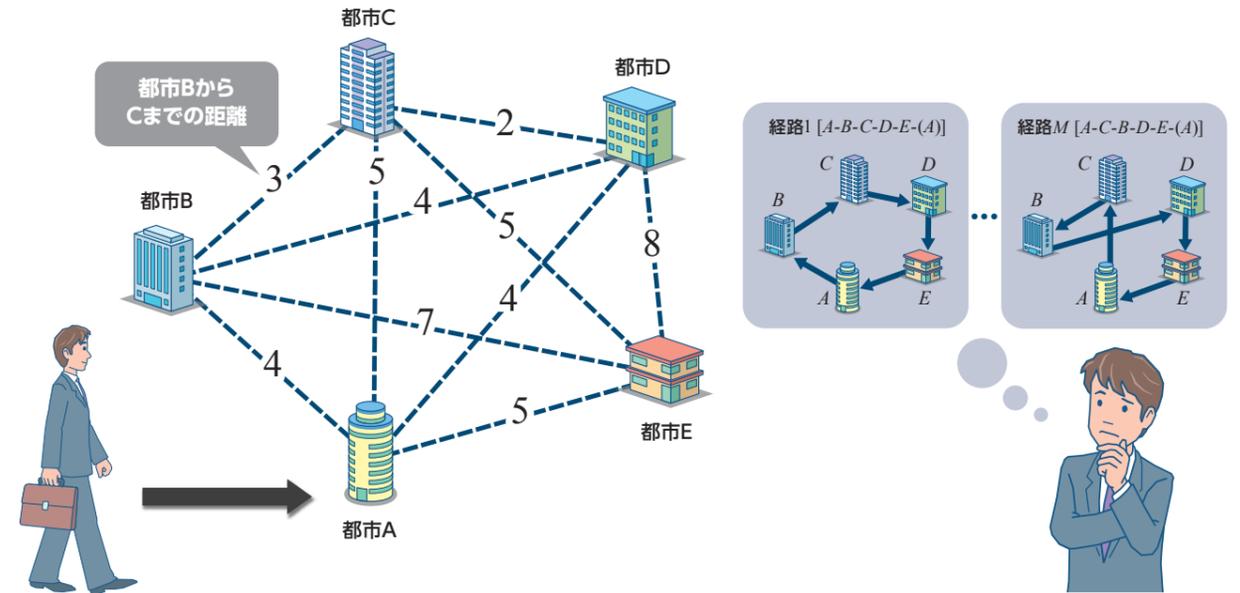
変数	値段	満足度
チョコ x_1	120円	10点
ガム x_2	30円	3点
クッキー x_3	90円	4点
ポテトチップス x_4	150円	8点
グミ x_5	120円	7点

制約 300円

●答えは10ページ

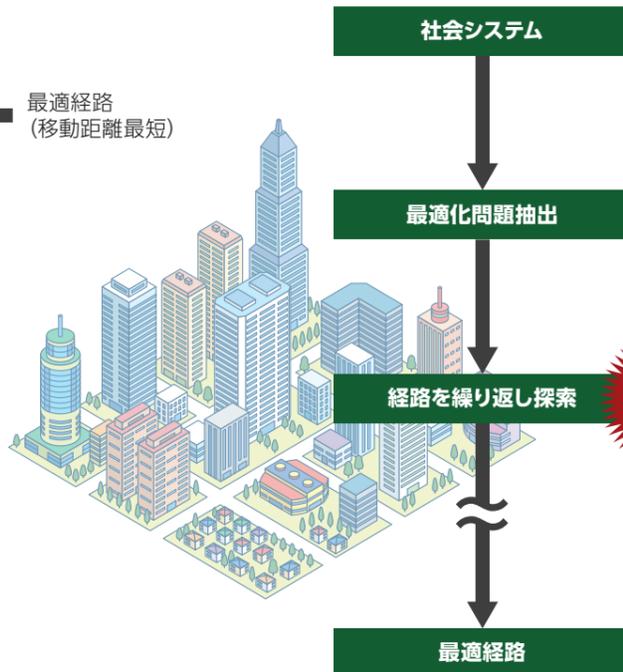
組み合わせ最適化問題の難しさ

最適化問題の別の例として、セールスマンが複数の都市をどのように訪問すれば、最短の移動経路(最適経路)で済むかを考えてみましょう。



都市数が少なければすべての候補数を調べることが可能です。しかし、都市数が増えると、候補数が爆発的に増加し、最新クラスのコンピュータでも計算を終えるのに何日もかかってしまいます。

経路の候補	移動距離
ABCDE(A)	22
ABCED(A)	24
ABDCE(A)	20
ABDEC(A)	26
ABECD(A)	22
ABEDC(A)	26
ACBDE(A)	25
ACBED(A)	27
ACDBE(A)	23
ACEBD(A)	25
ADBCE(A)	21
ADCBE(A)	21



都市数 (n)	経路の候補
5	12
25	3.1×10^{23}
30	4.42×10^{30}

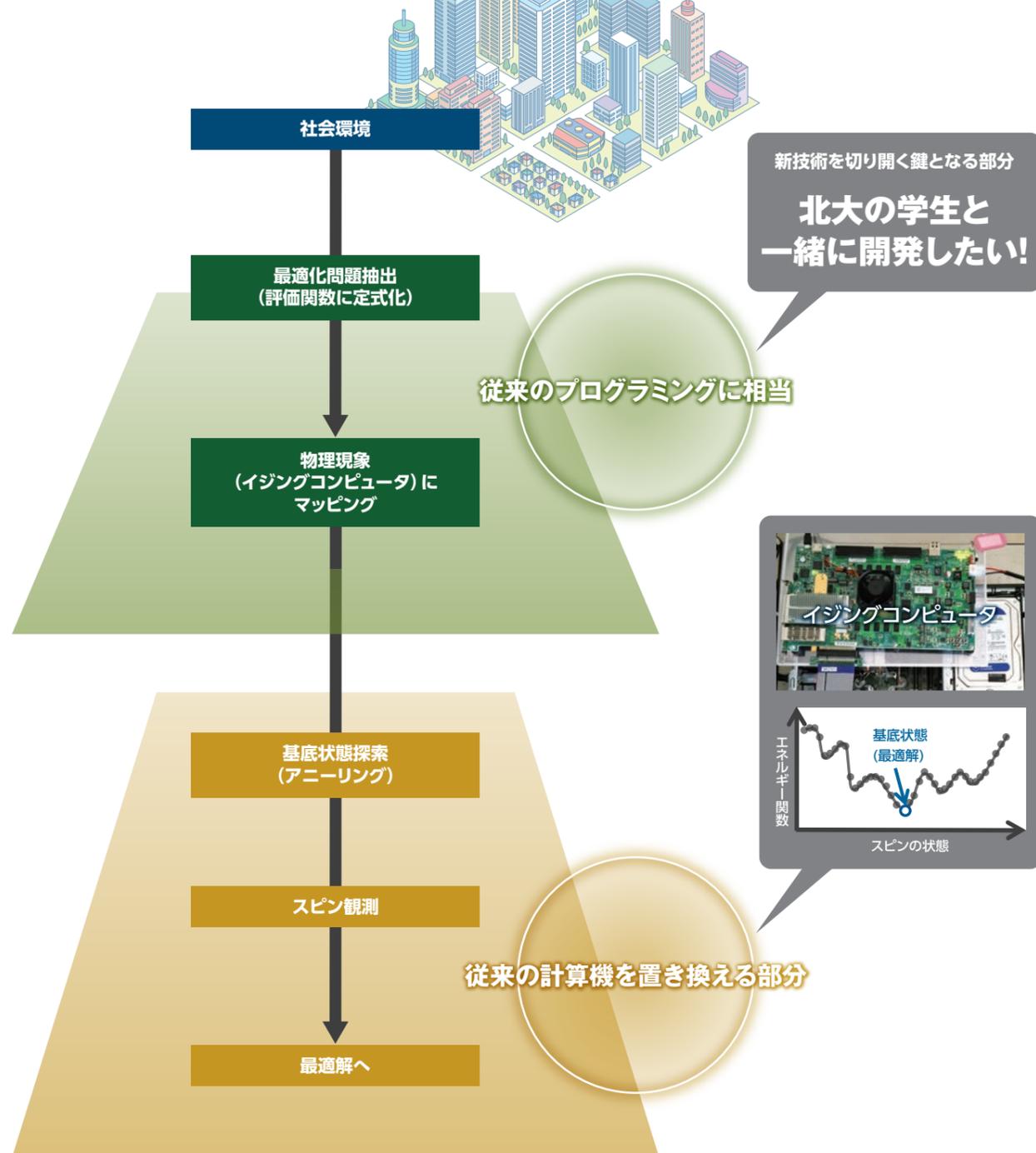
巡回する都市数 n が増えると、経路の候補が爆発的に増大 [($n-1$)!/2通り]

計算量爆発

従来のコンピュータとプログラミングでは実用的な速度で問題が解けない。

イジングコンピュータで最適化問題を解くには

イジングコンピュータを使いこなすには、従来のプログラミングに相当する、最適化問題の定式化、ハード実装可能な相互作用の変換（マッピング）が課題であり、数学の力が必要となります。これらの課題を解決できれば、イジングコンピュータは最適化問題に対する強力なツールとなり、コンピュータの歴史にイノベーションを起こす可能性を持っています。



最適化問題 (巡回セールスマン問題) をイジングスピンの基底状態探索問題に変換する方法の一例

入力: 最適化問題

評価関数に定式化

巡回セールスマン問題
エネルギー関数
(評価関数)

イジングコンピュータにマッピング

最適解へ

例: 都市数4の場合の巡回セールスマン問題

各都市を1度ずつ、もれなく訪問して最初の都市に戻る場合の最短距離は？

$$H(\sigma, y) = \gamma \left[\left(1 - \sum_{n=1}^P y_n\right)^2 + \left(\sum_{n=1}^P n y_n - \sum_{i=1}^N w_i \sigma_i\right)^2 \right] - \sum_{i=1}^N h_i \sigma_i$$

都市間の距離 D_{ij} をエネルギーとして加算

制約1: k 番目にどれか、一つの都市にいる

制約2: すべての都市を必ず1度は訪れる

$$H(\sigma) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N D_{ij} \sigma_{ik} \sigma_{j,k+1} + \gamma \left[\sum_{k=1}^N \left(1 - \sum_{i=1}^N \sigma_{ik}\right)^2 + \sum_{i=1}^N \left(1 - \sum_{k=1}^N \sigma_{ik}\right)^2 \right]$$

距離の項 (できる限り短く) 制約条件を与える項

- D_{ij} : 都市から都市までの距離 [ただし、都市間の距離は対称 ($D_{ij}=D_{ji}$) とする]
- σ_{ik} : 1 or 0 (k 番目に都市 i に訪問するとき $\sigma_{ik}=1$, k 番目に都市 i を訪問しないとき $\sigma_{ik}=0$)
- N : 都市の総数、 $\sigma_{j,N+1}=\sigma_{j,1}$ ($j=1, \dots, N$) とする (すべての都市訪問後は最初の都市に戻る)
- γ : 制約条件の強さに対応するパラメータ

青色の相互作用は距離の項、赤色の相互作用は制約条件を表し、訪問する都市を上向きで表現しています。マッピング後、アニーリングにより、最短距離が求められます。

アニーリングで求めた最短距離: $D_{14} + D_{42} + D_{23} + D_{31}$

イジングコンピュータで社会課題を解決しよう

最適化問題を見つけてイジングコンピュータで解いてみよう

交通渋滞の解消、物流・除雪コストの最小化など、日常のありとあらゆる場面で、リアルタイムで最適化する必要性が高まっている課題があり、イジングコンピュータはこれらの課題を解く有効な手段の一つです。

例えば、2015年の札幌市の除雪対策費は年間約150億円*であり、そのうち車道除雪、排雪費は約40%を占めています。

最適化により、除雪・排雪コストを20%削減することで、札幌市だけで年間12億円の経済効果が期待できます。

日立北大ラボは、複雑化する社会環境に内在する最適化問題をイジングコンピュータで解決するためのアイデアを募集しています。

また、応募いただいたアイデアは、応募者に帰属しますが、今後の弊社の研究・事業において自由に利用・公開されます。秘密情報・個人情報の開示はお控えください。

イジングコンピュータに興味を持ってくれた皆さん、日立北大ラボに加わり、ぜひわれわれと一緒に開発しませんか？

*出典元：札幌市ホームページ 雪対策実績 平成28年度の予算より <http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/yuki/jigyou/budget.html>

社会環境の最適化問題を具体的に考えてみよう

問題

- 交通網・物流・除雪に関して、最適化すべき制御対象を挙げなさい。
- 上記以外の社会環境に内在する最適化問題を挙げなさい。

	交通網	物流	除雪	
目的	交通渋滞の解消 	物流コストの最小化 	除雪コストの最小化 	?
入力	交通状況 各車の行き先	経路の移動コスト	降雪量 交通状況	

● 答えは10ページ

海外から注目！日立のイジングコンピュータ

半導体のオリンピックといわれる国際会議ISSCC2015で、CMOSイジングコンピュータを発表し、数多くのメディアに取り上げられました。日立は、イジングコンピュータ計算機実用化に向けた研究開発を推進しており、現在、国内外から大きな注目を集めています。

約1兆の500兆通りの膨大なパターンから瞬時に最適な解を導く
電圧制御可能な新型半導体コンピュータを試作

2015年2月24日 株式会社日立製作所

株式会社日立製作所執行役員社長兼COO 東原 昭昭(以下、日立)は、インジグコンピュータの約1兆の500兆通りの膨大なパターンから瞬時に最適な解を導く電圧制御可能な新型半導体コンピュータを試作したことを発表しました。このコンピュータは従来の半導体を用いた計算機よりも、電圧を制御することで、膨大なパターンの中から最適な解を導くことが可能になります。また、従来のコンピュータと比べて、約1,000倍の電力消費を削減できることから、電力消費量の削減が図れます。新型コンピュータは、自然や生物に倣った「探索」機能を計算で実現することで、社会課題の解決に役立ち、さまざまな実用システムの構築が可能になります。

膨大な量の計算 200倍の速さで

2015年2月24日(火) 日本経済新聞(16面)

日立製作所は、膨大な量の計算を200倍の速さで行うことが可能になることを発表しました。これは、インジグコンピュータの採用によるものです。日立は、インジグコンピュータの採用により、膨大な量の計算を200倍の速さで行うことが可能になることを発表しました。これは、インジグコンピュータの採用によるものです。日立は、インジグコンピュータの採用により、膨大な量の計算を200倍の速さで行うことが可能になることを発表しました。これは、インジグコンピュータの採用によるものです。

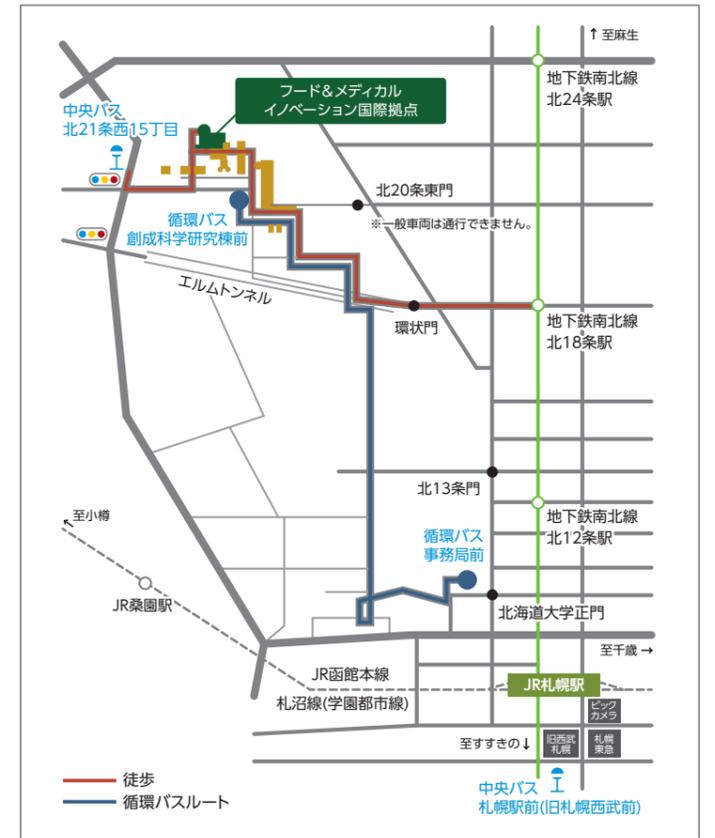
半導体チップ 計算200倍速く 日立

2015年2月24日(火) 日経産業新聞(8面)

日立製作所は、膨大な量の計算を200倍の速さで行うことが可能になることを発表しました。これは、インジグコンピュータの採用によるものです。日立は、インジグコンピュータの採用により、膨大な量の計算を200倍の速さで行うことが可能になることを発表しました。これは、インジグコンピュータの採用によるものです。

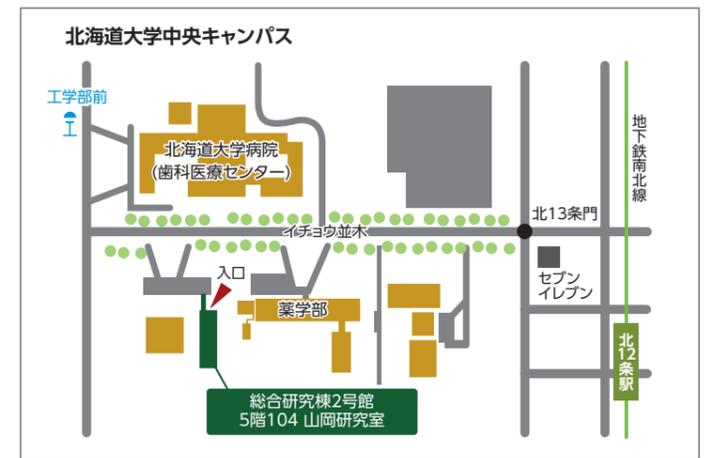
株式会社 日立製作所 研究開発グループ 基礎研究センタ 日立北大ラボ

〒001-0021 北海道札幌市北区北21条西11丁目
北海道大学フード&メディカルイノベーション国際拠点213



北海道大学 電子科学研究所 附属 社会創造数学研究センター 実験数理研究分野 (山岡研究室)

〒060-0811 北海道札幌市北区北12条西7丁目
北海道大学中央キャンパス 総合研究棟2号館5階104



連絡先

担当：竹本 享史
田中 咲 msc_hitachi@es.hokudai.ac.jp

〒001-0021 北海道札幌市北区北21条西11丁目 北海道大学フード&メディカルイノベーション国際拠点213