

大西さんの物理学での軌跡とインパクト  
～重イオン衝突シミュレーションから、QGP、QCD、中性子星、  
ハドロン現象論まで

菅沼秀夫



大西さん追悼研究会「クォーク・ハドロン・原子核物理の潮流と展望」  
2024年3月2日 於 京都大学基礎物理学研究所

## 大西さんの研究の軌跡

### 京大院生時代

堀内さん、丸山さん

小野章さん 「分子動力学法における量子統計性」

### 北大時代

奈良寧さん 「高エネルギー原子核衝突の微視的シミュレーション」

石塚知香子さん 「大西さんが北大時代に育んだハドロン・核物理の発展の芽」

三浦光太郎さん 「強結合格子QCDと複素ランジュバン法で迫るQCD相図」

住吉光介さん 「高温高密度物質を探る一大西さんの思い出」

### 京大基研時代

高橋徹さん 「場の理論における非平衡ダイナミクスの研究」

柏浩司さん 「符号問題の研究：機械学習を用いた研究を軸として」

森田健司さん 「Femtосcopy研究のはじまりと発展」

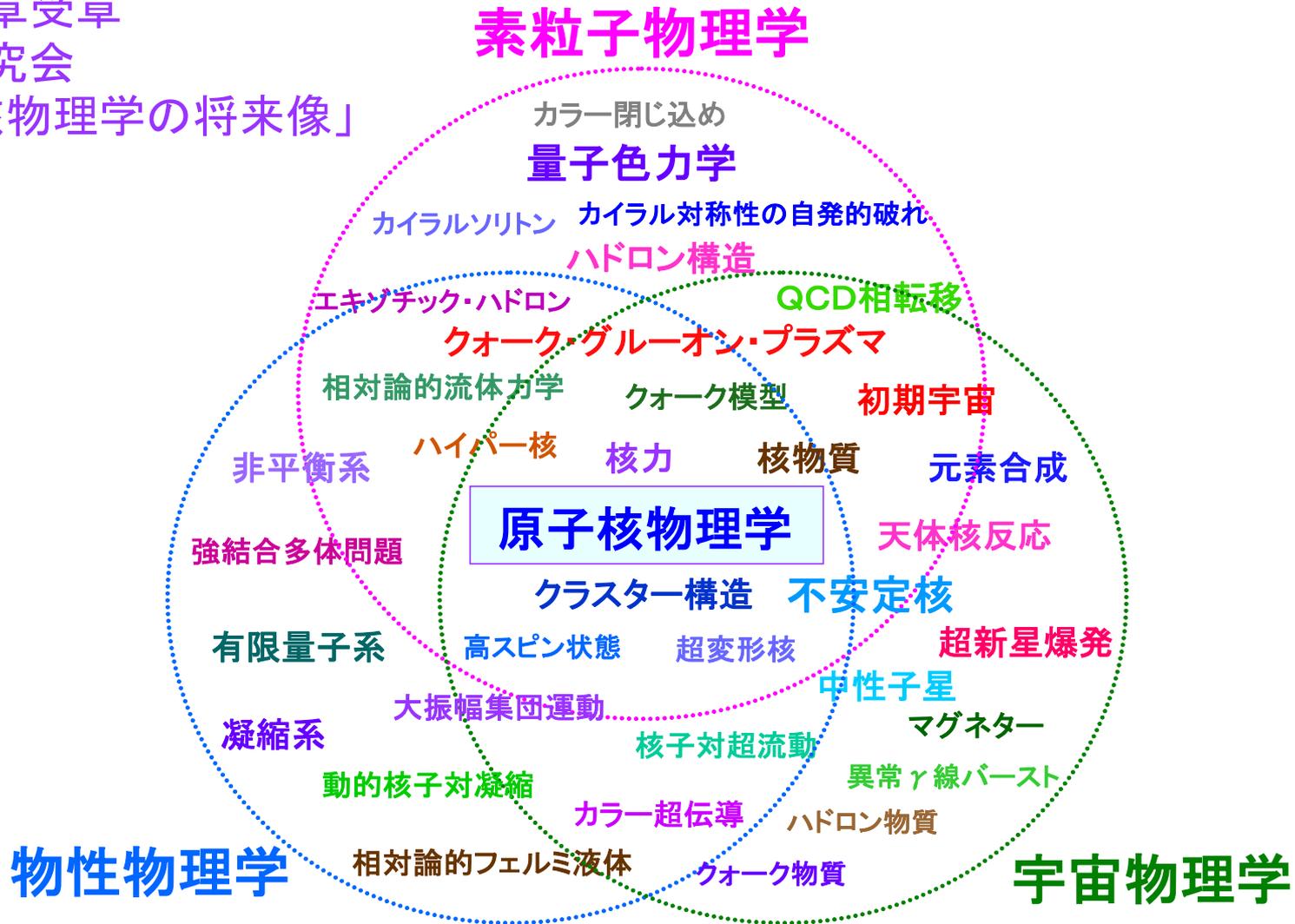
兵藤哲雄さん 「フェムトスコーピーによるハドロン間相互作用の研究」

神谷有輝さん 「フェムトスコーピー研究の発展と大西さんとの思い出」

神野朝之丞くん 「重イオン衝突・ハイパー核から探る中性子星」

堀内先生  
紫綬褒章受章  
記念研究会  
「原子核物理学の将来像」

# 様々な方向に展開している原子核物理学



現代の原子核物理学は、不安定核物理など、核物理固有の領域での目覚ましい発展に加えて、素粒子物理・物性物理・宇宙物理など様々な方向にも研究対象が拡張しており、物理学全体の「重心」とでもいうべき位置にある。

大西さんとの出会い

1983年4月 京都大学 理学部 入学



# 1983年4月 京都大学の科学系サークル 新しい科学の会(しんか)

当日 100円

## 新しい科学の会 講演会

どんなサークル?

懇話会  
15名ほど  
科学の  
大きな影響

私たち新しい科学の会は、今年度、年間テーマに自然科学を学ぶ者はもちろん、社会科学を学ぶ者も、科学の発展に貢献したいと考えています。新しい科学の会は、今年度、年間テーマに自然科学を学ぶ者はもちろん、社会科学を学ぶ者も、科学の発展に貢献したいと考えています。

新歓講演会 第二弾!!  
「技術進歩と環境問題」  
4月19日(予定)  
70分

新



で学習  
15名ほど  
科学の  
大きな影響

で学習し、また個別ゼミとしては、科学史ゼミ、人工知能ゼミ、行動学ゼミ、技術論

# 1983年4月 京都大学の科学系サークル 新しい科学の会(しんか)



松柳さん



水鳥さん



相場さん



当日 100円  
新しい科学の会  
新

どんなサークル?

私たち新しい科学の会は、今年度、年間テーマに自然科学を学ぶ者はもちろん、社会科学を学ぶ者も、科学の発展に貢献したいと考えています。新しい科学の会は、今年度、年間テーマに自然科学を学ぶ者、社会科学を学ぶ者、科学の発展に貢献したいと考えています。また個別ゼミとしては、科学史ゼミ、人工知能ゼミ、行動学ゼミ、技術論

# 1983年4月 しんかの新歓講演会

## 4・8 PM 4:00

### 「現代の自然観 — 物理学の立場から」

科学は文化の一要素である以上、我々に対して、ただ単に技術的な面でのみ生活や社会を変革しつつあるだけではない。思想的な面、すなわち科学的世界観、自然観として、あるいは科学的な考え方としてその時代に大きくかかわりその時代の思想を作りあげていると言えよう。

では、現代科学はいかに思想に働きかけているのだろうか。逆に、現代科学はそれ自身として、あるいは科学者を通して間接的に、いかなる思想に影響されているのだろうか。

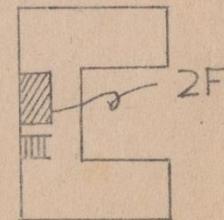
この講演は、上記の問題に関して、特に現代物理学に焦点をあて、その根底となる自然観はどのようなものかを考えていこうとする。

講師 \* 玉垣良三氏  
(京大理学部 教授)

於 \* BP 1

4

北部構内



今出川通

# 1983年4月 しんかの新歓講演会

## 『現代の自然観 — 物理学の立場から』

科学は文化の一要素である以上、我々に対して、ただ単に技術的な面でのみ生活や社会を変革しつつあるだけではない。思想的な面、すなわち科学的世界観、自然観とし

講師 \* 玉垣良三氏  
(京大理学部 教授)



すごい！  
本当にすごい！  
クォークから原子核、  
物性物理、  
宇宙物理まで！

# 教養部時代

サークル部屋でみんなでたむろしていた

- ・科学的認識論(科学的とは何か?)などを考察
- ・1回生のとき自主ゼミとして「量子力学」を共に学ぶ



## エピソード

- ・サークル部屋ではマンガばかり読んでいた。
- ・積分を暗算で解いたり、物理や数学の才能は尋常でなかった。
- ・議論大好き 例えば、よく遊びに来る先輩の 佐々真一さんとローレンツ変換に関して独創性の高い議論を戦わせていた。

# 学部時代

# 3回生前期の課題演習A2

$^{60}\text{Co}$ の $\gamma$ - $\gamma$ 角相関の測定による

$^{60}\text{Ni}$ の核スピンの決定

1985年度 前期 A2 1班.

菅沼秀夫  
橋田諭  
大西明治  
林 俊治



☆大学院進路は 原子核理論 か 素粒子論 かで迷う！



どっちも  
面白そうだし  
やりたいなあ...  
できるんじゃない  
かなあ



☆大学院入試の成績は 歴代最高 で、9割5分を得点

原子核論研究室へ

# 原子核論研究室 大学院時代

# 1987年4月 研究室での花見遊歩

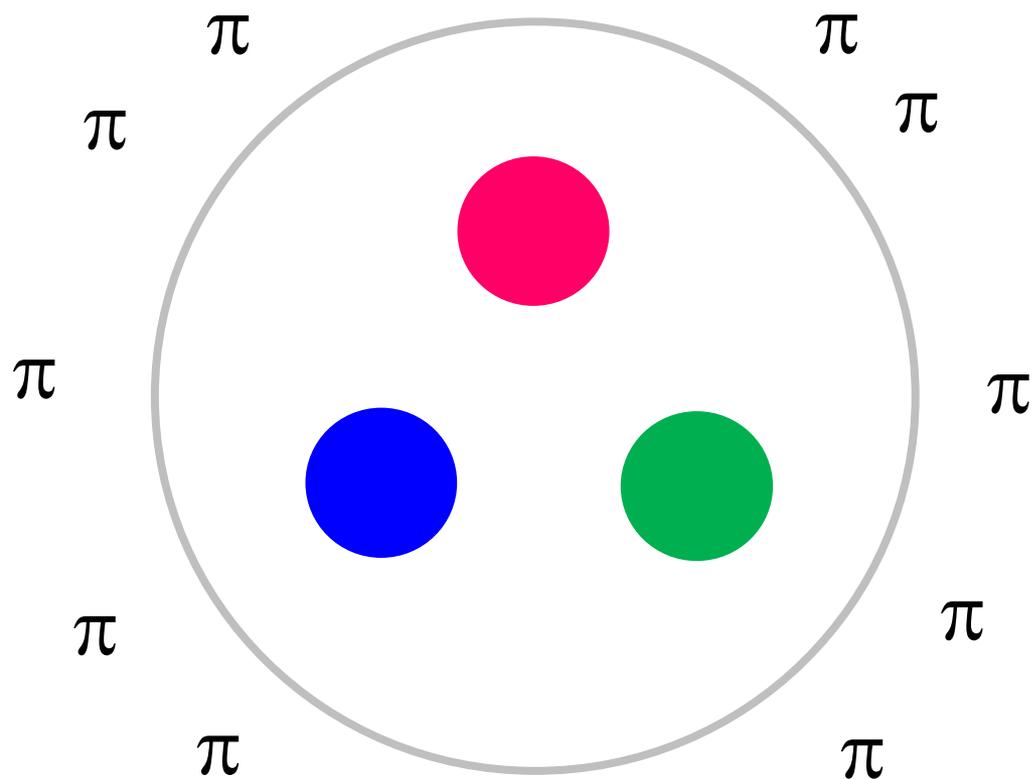


# 1987年 研究室での春ハイキング



# 研究室 M1論文紹介

カイラルバグ模型の論文を選択

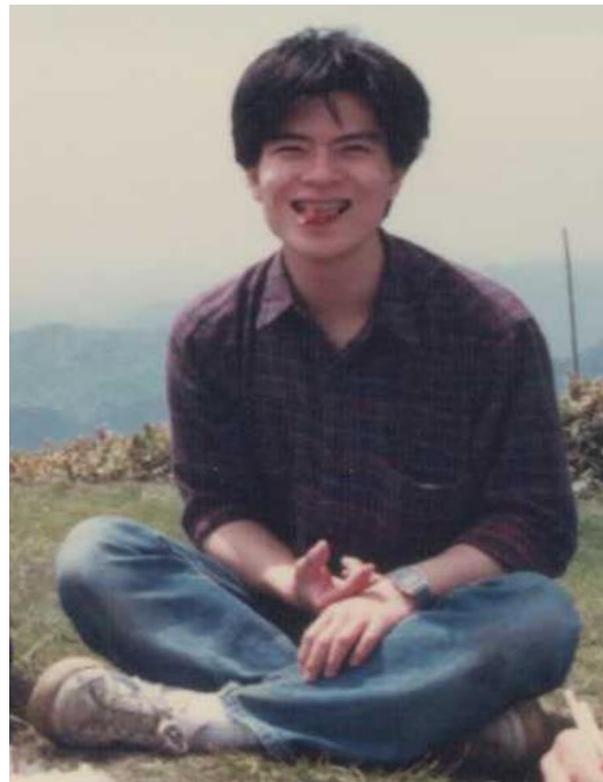


クォーク物理を志向

## 堀内さんとの絆の深まり(1988年～)

M2 になると タコ部屋から研究室移る

大西さんは、堀内さんと同じ部屋になり、日々の交流から、堀内さんの魅力と研究の構想に心酔していく。



堀内さん、  
すごいで～！

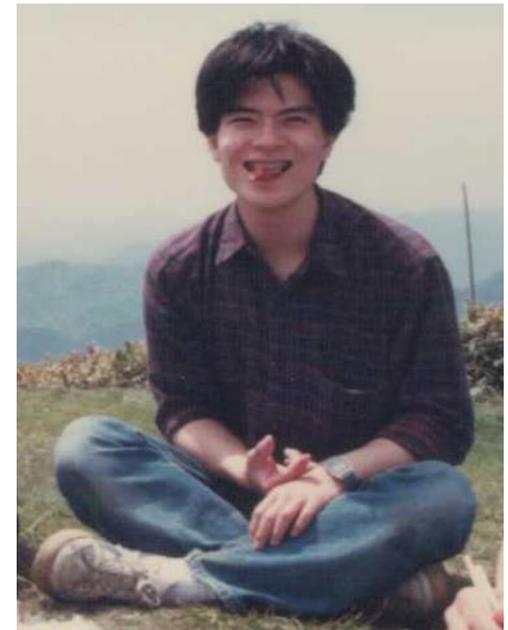
研究分野は  
原子核反応 か  
クォーク物理  
(High Density)  
かで迷う！

# 堀内さんの構想と大西さんの最初の研究(1988年～)

複雑な原子核反応に対して、  
大規模数値計算を活用することで  
定量的で精密な研究を遂行する



これ将来性もあるし、  
物理としても  
面白いと思う！



(背景) インターネットもウィンドウズもない16ビットパソコンの時代

エピソード: 修士論文は、前半はワープロ印字、後半は手書き(時間がない!)

それでいて、院生ゼミでは、

Matsui-Satz の論文や G. Baym の論文を取り上げ、

クォーク・グルーオン・プラズマに並々ならぬ関心を示す

低エネルギーの重イオン反応  
から高エネルギーの  
クォーク・グルーオン・プラズマまで  
研究しようと思ってる



「あれかこれか」じゃなくて

あれもこれも かよ！

でも、大西なら・・・





# 大学院時代の研究論文 堀内グループ



☆ Nucleon momentum distribution in colliding nuclei and potential between excited nuclei studied with the **Vlasov equation**  
A. Ohnishi, H. Horiuchi, T. Wada, Phys. Rev. **C41** (1990) 2147-2158.

☆ Near and far - side contributions to ejectile polarization  
A. Ohnishi, T. Maruyama, H. Horiuchi, Prog. Theor. Phys. **87** (1992) 417-432.

☆ **Quantum molecular dynamics** study of fusion and its fade out in the  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  system  
T. Maruyama, A. Ohnishi, H. Horiuchi, Phys. Rev. **C42** (1990) 386-394.

☆ **Antisymmetrized version of molecular dynamics** with two nucleon collisions and its application to heavy ion reactions  
A. Ono, H. Horiuchi, T. Maruyama, A. Ohnishi, Prog. Theor. Phys. **87** (1992) 1185-1206.

☆ Fragment formation studied with **antisymmetrized version of molecular dynamics** with two nucleon collisions  
A. Ono, H. Horiuchi, T. Maruyama, A. Ohnishi, Phys. Rev. Lett. **68** (1992) 2898-2900.



複雑な原子核反応に対して、**量子力学的大規模数値計算**を**世界に先駆けて定式化**、それを**実行**することで、**定量的で精密な研究**を遂行した！





## 核物理の新たな潮流～数値核物理学



☆Vlasov equation : collisionless Boltzmann equation

☆VUU equation : Boltzmann equation (with collision term)

多数の粒子系を扱う場合に、それらを一点ずつ表現するのではなく、ある分布関数に従うものとして表現し、その時間発展を追う。

☆QMD (Quantum Molecule Dynamics): 量子分子動力学

分子動力学に、量子論的効果を取り込んだ多体系のシミュレーション。衝突の際に、微分断面積に比例して確率的に反応などの変化を取り込む。



☆AMD (Antisymmetrized Molecule Dynamics): 反対称化分子動力学

QMDに、フェルミオンである核子の**反対称化の効果**を巧みに取り込んで定式化された、原子核の**構造と反応を統一的に記述**する理論。有効相互作用と核子の自由度から *ab initio* に**クラスター構造**などを表現できる。平均場理論を超えた微視的クラスター模型。



1992年3月23日 学位授与





# 享子さんのご結婚～阪大時代～

Later 健太君、達也君のお父さんになる！

あけましておめでとうございます



なせかねずみの写真の中で  
いぬが一人を産んでくれた  
今年もよろしく。

〒064-0913

札幌市中央区南13条西23丁目1-30-302

大西 明・享子・健太・達也

# 重イオン反応の低エネルギー領域から 高エネルギー領域までも～北大時代



## 北大時代

奈良寧さん「**高エネルギー原子核衝突**の微視的シミュレーション」  
石塚知香子さん「大西さんが北大時代に育んだ**ハドロン・核物理**の発展の芽」  
三浦光太郎さん「**強結合格子QCD**と複素ランジュバン法で迫る**QCD相図**」

## JAM: 1つの集大成

分子動力学を**相対論化**し、**pQCD**や Lund 模型的な **hadronic string**、**hadronic cascade** を取り込み、**高エネルギー原子核反応**への適用を可能とした **ハドロン輸送の微視的シミュレーション模型**。

Study of relativistic nuclear collisions at AGS energies  
from p + Be to Au + Au with hadronic cascade model

Y. Nara, N. Otuka, A. Ohnishi, K. Niita, S. Chiba, Phys. Rev. **C61** (2000) 024901.



高エネルギー原子核反応研究の基本模型

# ストレンジネス核物理と中性子星の物理 北大～京大時代

石塚知香子さん「大西さんが北大時代に育んだ**ハドロン・核物理**の発展の芽」  
住吉光介さん「**高温高密度物質**を探る—大西さんの思い出」  
神野朝之丞くん「**重イオン衝突・ハイパー核**から探る**中性子星**」

## 新学術領域研究

「**実験と観測で解き明かす中性子星の核物質**」  
(2012-2017)の理論のヘッド



# 難問QCDに迫る！ 北大～京大時代

三浦光太郎さん「強結合格子QCDと複素ランジュバン法で迫るQCD相図」

高橋徹さん「場の理論における非平衡ダイナミクスの研究」

柏浩司さん「符号問題の研究：機械学習を用いた研究を軸として」

M1の森君「符号問題をやりたいです！」



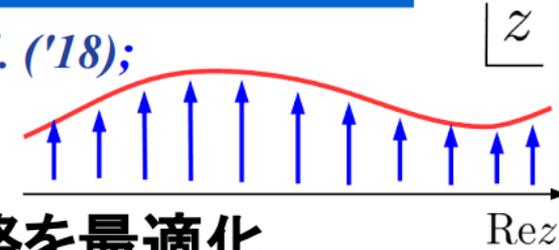
経路最適化法: *New Method*

有限密度格子QCDなどで現れる超難問、符号問題に対しては、経路積分での経路を複素化することで解決を目指すことが多いが、その際に、機械学習を用いて複素経路を最適化することによって符号問題を克服する試み。

機械学習を用いた物理研究の先駆的研究

# 経路最適化法 (Path optimization method)

Mori, Kashiwa, AO ('17, '18), AO+(Lattice 2017), Kashiwa et al. ('18);  
Alexandru et al. ('17, '18, '18), Bursa, Kroyter ('18).



- 平均位相因子 (APF) が大きくなるよう積分経路を最適化

$$\text{APF} = \langle e^{i\theta} \rangle_{\text{pq}} = \int dx e^{-S} / \int dx |e^{-S}| = \mathcal{Z} / \mathcal{Z}_{\text{pq}}$$

- コスト関数を減らすよう経路を変分

$$\mathcal{F}[z(x)] = |\mathcal{Z}| \left( |\langle e^{i\theta} \rangle_{\text{pq}}|^{-1} - 1 \right)$$

- コーシー (・ポアンカレ) 積分定理 → 分配関数は経路によらない

- フェルミオン行列式のゼロ点は有効作用の特異点だがボルツマン重率の特異点ではない (ゼロ点)

- 経路の最適化には様々な手法が利用可能

- (確率的) 最急降下法、ニューラルネットワーク、...

符号問題 → 最適化問題

# フェムトスコーピーの物理～京大時代

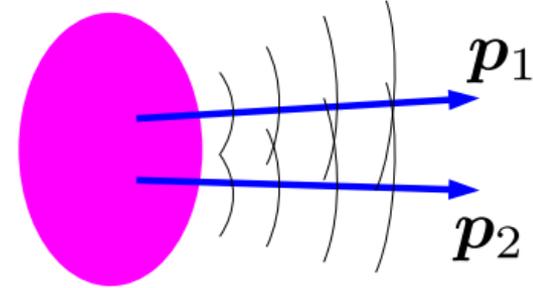
- 森田健司さん 「Femtoscopia研究のはじまりと発展」  
兵藤哲雄さん 「フェムトスコーピーによるハドロン間相互作用の研究」  
神谷有輝さん 「フェムトスコーピー研究の発展と大西さんとの思い出」



相関関数を利用してハドロン間相互作用を調べる  
フェムトスコーピーという新しい物理の潮流を創出

# フェムトスコーピーによるハドロン間相互作用研究

- 相関関数 (CF) を利用する研究 = Femtoscopy
- 基本公式 = Koonin-Pratt formula



*Koonin('77), Pratt('86), Lednicky+('82)*

- CF = 源関数と |波動関数|<sup>2</sup> の畳み込み
- 粒子源が chaotic (独立・乱雑な生成) な場合に適用可

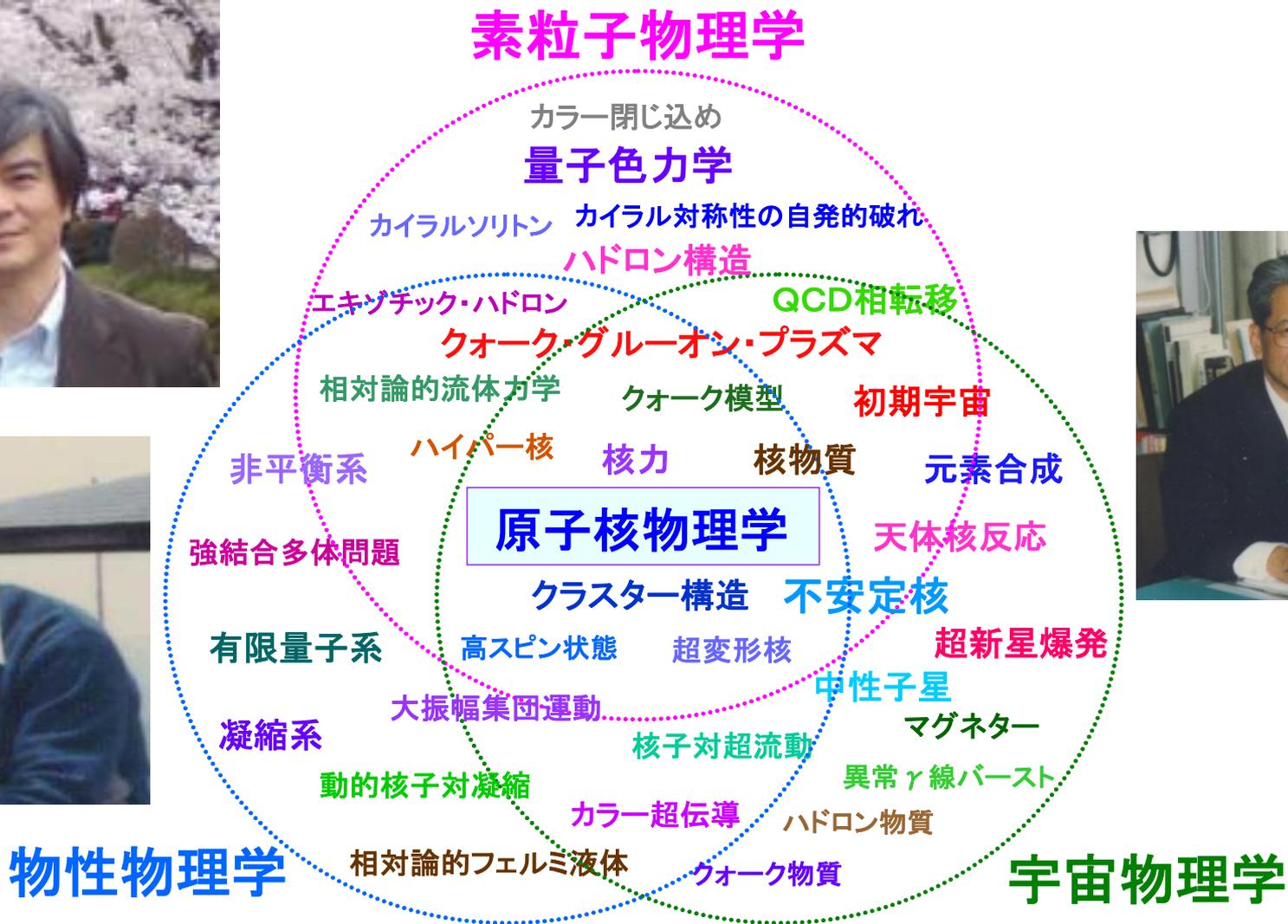
$$C(p_1, p_2) = \frac{N_{12}(p_1, p_2)}{N_1(p_1)N_2(p_2)} \simeq \int dr \underbrace{S(r)}_{\text{源関数}} \underbrace{|\varphi_q(r)|^2}_{\text{相対波動関数}} \quad (\mathbf{q} = \text{rel. mom.})$$

## ■ 相関関数の2つの使い方

- 通常の利用方法 = 源関数から反応領域のサイズ・形状特定 (HBT effect)  
*Hanbury Brown & Twiss ('56); Goldhaber, Goldhaber, Lee, Pais ('60)*
- 標準的でない使い方 = |波動関数|<sup>2</sup> の増加からハドロン間相互作用を調べる  
*Lednicky, Lyuboshits ('82); Morita, Furumoto, AO ('15)*

$$C(\mathbf{q}) = 1 + \int d\mathbf{r} S(r) \{ |\varphi_0(r)|^2 - |j_0(qr)|^2 \} \quad (\varphi_0 = \text{s-wave w.f.})$$

# 様々な方向に展開している原子核物理学



大西さんは、原子核物理(数値核物理学)、素粒子物理(QCD)、宇宙物理(中性子星)など幅広い領域に、消える事のない確かな足跡を残しました。広さは玉垣さん、深さ・確かさは堀内さんの薫陶を受けたように思えます。

大西さんは、いつだって時代の最先端の潮流に乗って  
幾つもの新しい潮流を生み出してきました



大西さんは不幸にして道なかばにして倒れました。  
しかし、彼が創り出した流れは、  
有形無形で彼の薫陶を受けた者たちによって引き継がれ、  
この先も延々と続いていくのだと思います。

## 大西さんが残してくれたもの

大西さんは、とても明るくまぶしい存在でした。  
スマートで、スタイリッシュで、エネルギッシュで、時には  
お茶目なエンターテイナーで、話術は優れ、人を魅了する。

研究ではいつだって難業にチャレンジし、重要で新しい潮流  
を幾つも生み出してきました。責任感が強く、多くの学生た  
ちをしっかりと育成し、理論物理学の広い領域に多大なる貢  
献をしてきました。

そして何より、明るい家庭を築き、奥様とともに、立派な息  
子さん育て上げてきました。

そういった事のすべてが素晴らしく、大西さんとの思い出の  
数々は、大切な宝物のように皆の心にも深く残るような気が  
します。

私は、こんなに素晴らしい人と同じ時を過ごせて幸せでした。

大西 明さん、本当にありがとう。



大西さん、ありがとう  
やすらかにやすみください

