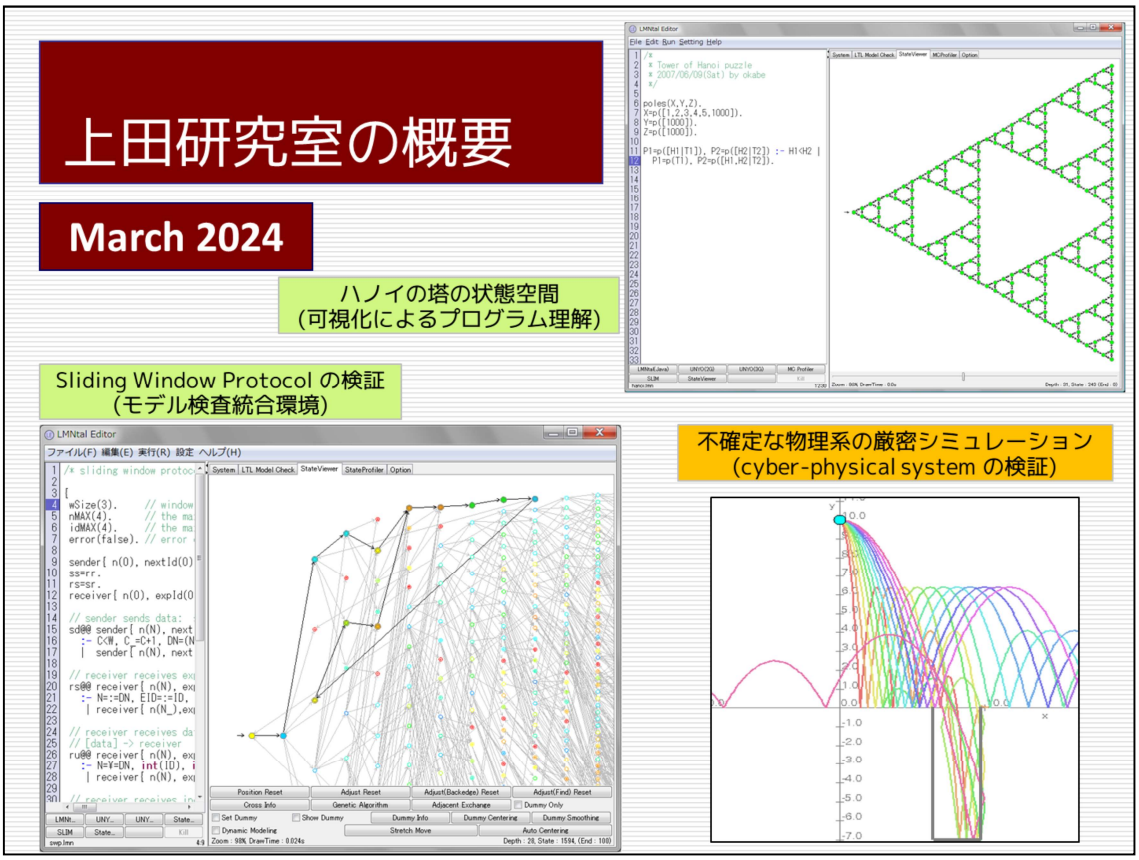


こんにちは.

さっそくですが，この表紙のスライドは，上田研でゼロから開発したプログラミング言語とビジュアル開発環境を用いたプログラム実行例を示しています.

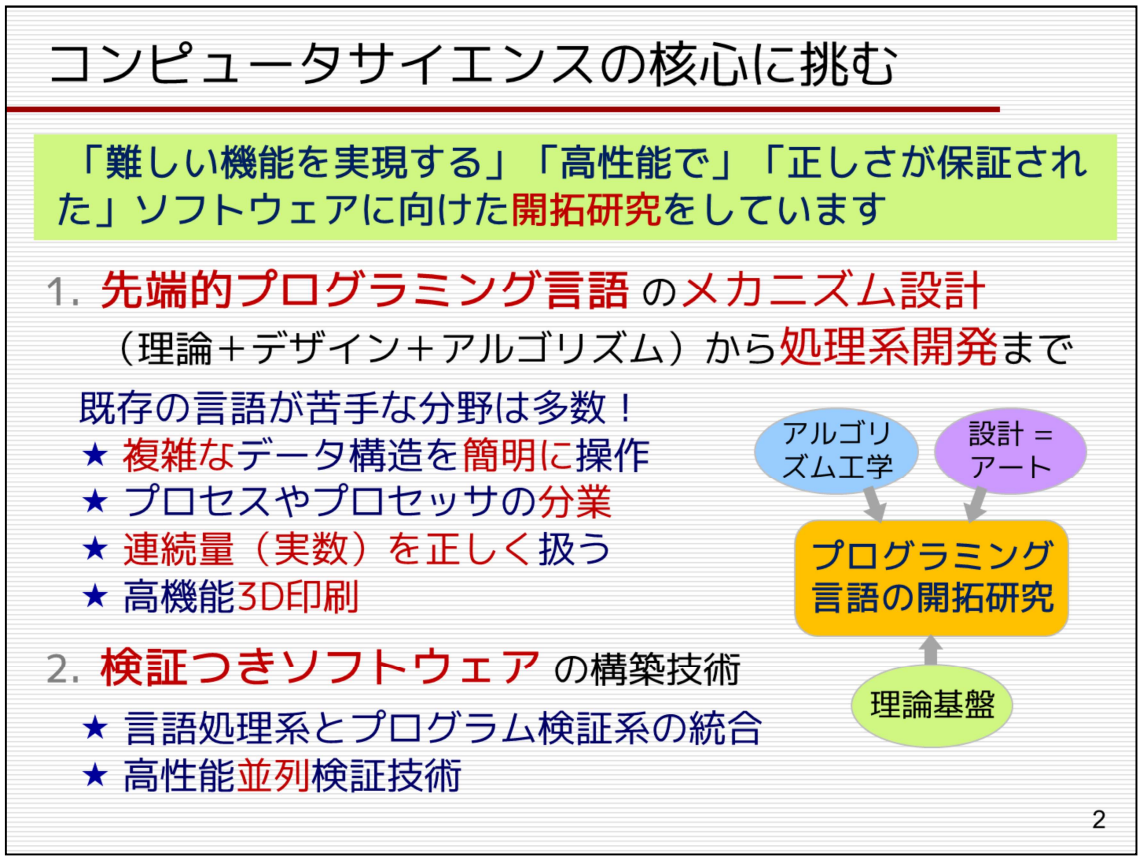
右上は皆さんご存知の「ハノイの塔」のプログラム（字が小さいですが）とそれが生成する状態空間です．操作ルールは再帰を使わずに１行（横幅の関係で折り返されてます）で書け，ボタン一発でフラクタル的な状態空間が図示できます.
（ハノイの塔の状態空間図を見たことありますか？）

左下はコンピュータネットワークの授業で学ぶTCPで使われている sliding window プロトコルの検証を可視化したもので，通信路が信頼できない場合にパケット再送が無限回繰り返される例を状態遷移図からハイライトしています.

この二つのビジュアル環境は実は同じものですが，皆さんの先輩が４年生の時に着想して構築したツールが発展してきたものです.

右下は物理系のシミュレーションで，穴の開いた地面を弾むボールの軌道を可視化しています．普通のシミュレーションとまったく違って，浮動小数点計算を使わずに厳密な計算を行い，しかもボールの初速度によって変わるさまざまな挙動を自動的かつ一挙に示しています.

どちらも，世界的にオンリーワンのツールです.



上田研はこのようなオンリーワンの先端ツールを実際に開発しながら，コンピュータサイエンスの核心を探求することをモットーにしています．

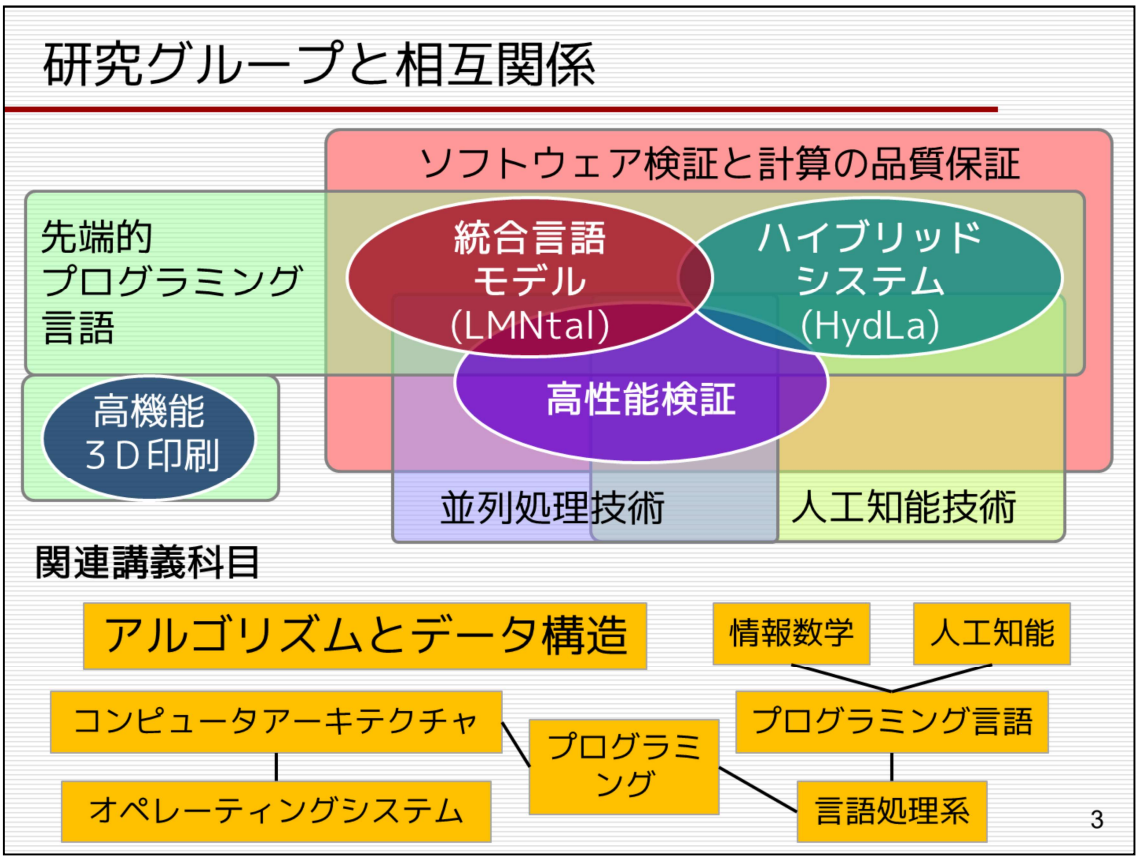
コンピュータの万能性はプログラムのおかげですから，コンピュータサイエンスの核心はプログラムのサイエンスであるといって過言ではありません．プログラムは単なる手段にすぎないと思っていると，情報社会全体が砂上の楼閣になります．誰かが核心を深く追究し，先駆的な試みに挑戦する必要があります．

我々は，難しいと考えられている機能を容易に実現するソフトウェア，ハードウェア性能を限界まで引き出すソフトウェア，プログラムが書けたときから正しさが保証されるようなソフトウェア，などをいかにプログラムするのか，という問題意識で技術開発に取り組んでいます．

この目標を実現するために，我々は，先端的なプログラミング言語が備えるべきメカニズムの基本設計から行います．言語のメカニズム設計は，数学的理論，アート，アルゴリズム工学，の三者が交わる非常に楽しい仕事です．

基本設計ができたら処理系構築です．このような作業を，多数のプロセッサが分業するソフトウェア，アルゴリズム未開拓領域のソフトウェア，連続量を正しく扱うソフトウェア，高機能3D印刷のためのソフトウェア，など多様な分野で展開しています．

もうひとつの観点は，正しさが検証されたソフトウェアの構築技術です．社会基盤で用いるソフトウェアでは，正当性の検証は特に重要です．このニーズにこたえるために，我々は言語処理系とプログラム検証系との統合や，並列コンピュータをもちいた高性能検証技術に取り組んでいます．



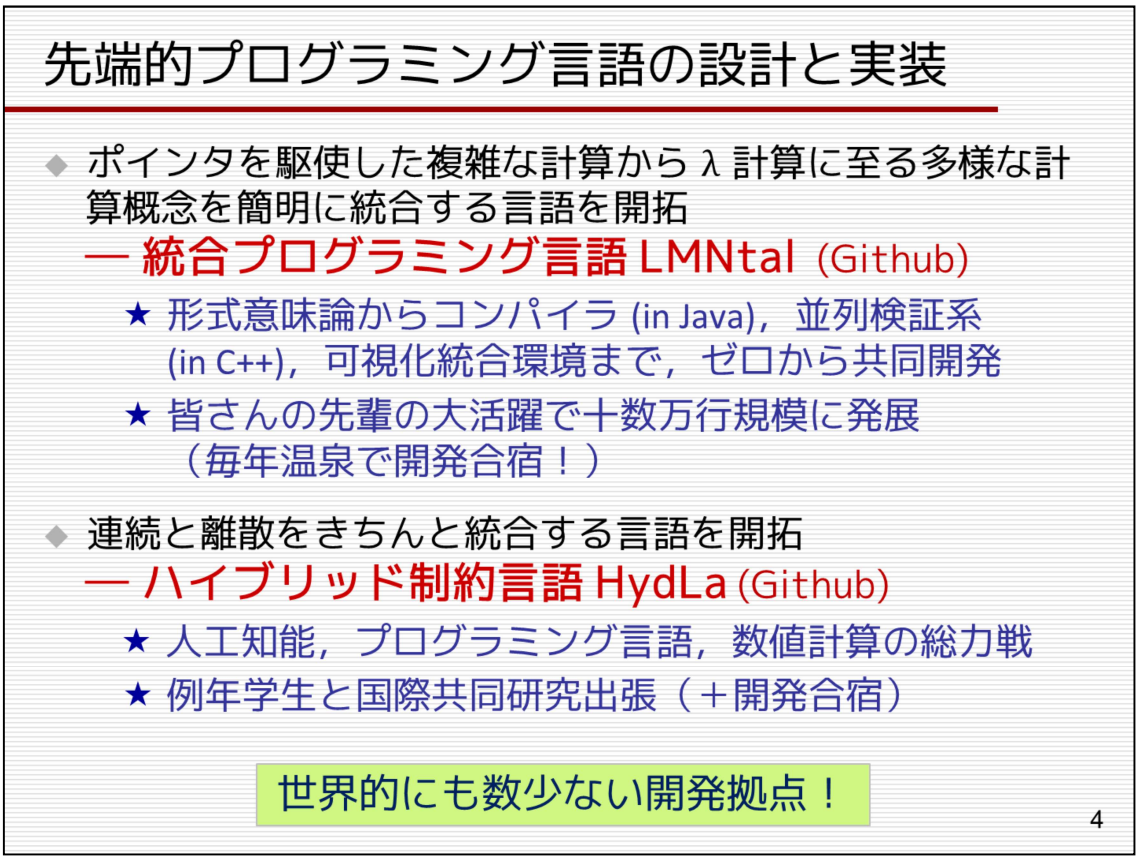
このスライドは，我々の研究グループと相互関係を表しています．楕円がプロジェクト，四角が技術を表しています．

いまは二つの言語，LMNtal と HydLa を核としたプロジェクトを中心に展開してえて（赤と緑の楕円），３Dプリンタを格段に高機能化するための言語の開発にも着手したところです（濃緑の楕円）．並列マシンを使ったソフトウェア検証を目指す高性能検証（紫色の楕円）も，熱意ある人が推進してきました．

ほとんどのプロジェクトはソフトウェア検証と計算の品質保証技術（薄赤の四角）を重要目標としています．さらに並列処理技術（薄青の四角）と人工知能技術（黄緑の四角）も重要な技術となっています．

これらの研究に関連する講義科目は，スライドに書いてあるような情報系のコア科目です．アルゴリズムとデータ構造は特に大事なのでちょっと大きな字にしました．

これらのコア科目に興味のある人は，上田研に特に向いていると思います．実は，トップIT企業が最もほしがるのが，何よりもこれらのコア科目をしっかり勉強した人たちだったりします．



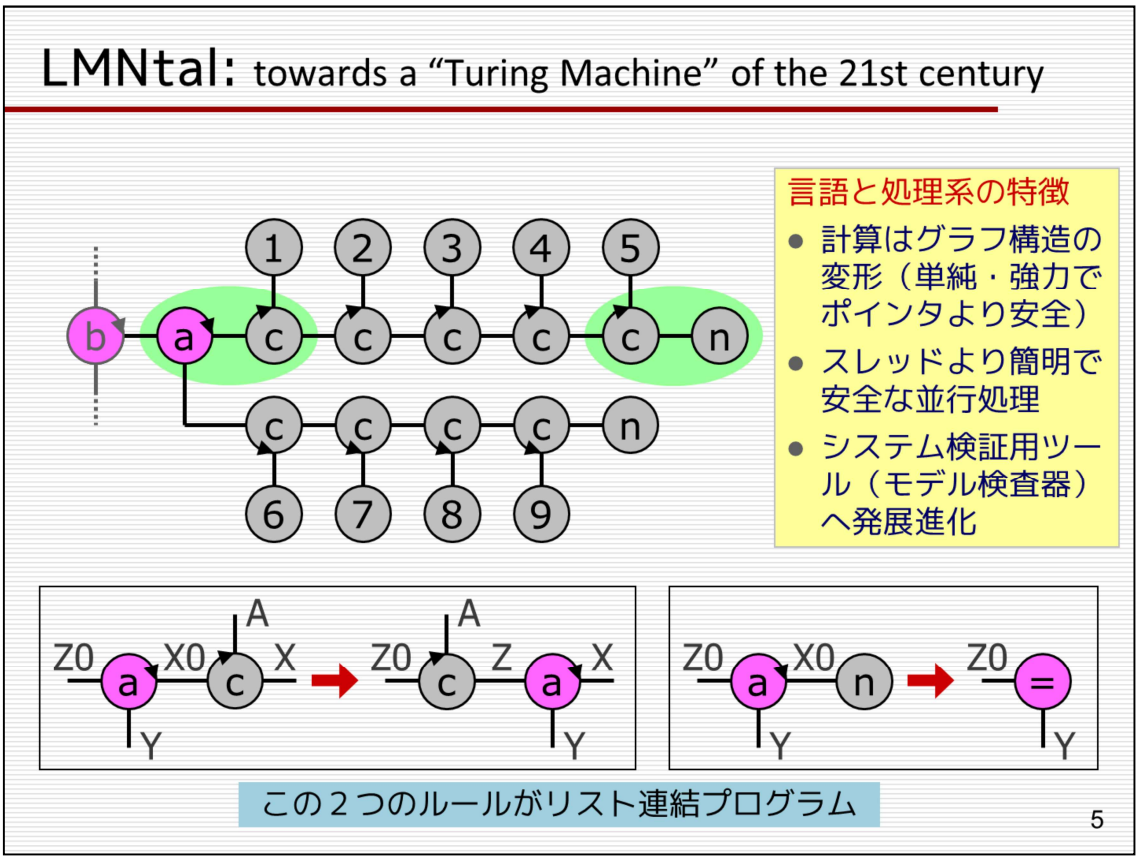
研究室の中心テーマはプログラミング言語ですが，上田研の最大の特徴は，既存のプログラミング言語にとどまらず，プログラミングのための真に新たなコンセプト（考え方）を発信し，さらに実現している点だと思います．

このスライドではそのような二つの言語を紹介します．

最初の言語 LMNtal（elementalと読みます）は単純だけど多才な言語で，C 言語で書くとぐじゃぐじゃになってしまいそうなポインタを駆使した計算から，λ計算のようなフォーマルな計算モデルまで，多様な計算概念を統一的かつ簡明に統合することを目指しています．皆さんの先輩が力を合わせて，細部にわたる言語設計から，コンパイラ (Java)，実行・検証系 (C++)，可視化統合環境 (Java/Scala) まで，ゼロから開発してきました．Github で見ることができます．

もう一つの言語 HydLa は，コンピュータや通常のプログラムが苦手とする真の連続値（実数値）を，離散値と統合的に扱うことへの挑戦です．このような言語や処理系を作ろうとすると，プログラミング技術だけでなくて，人工知能や数学もフル活用する必要がでてきます．開発拠点が少ない中，海外パートナーの大学に学生と出かけて共同研究をしたりします．

このようなお話をすると，実世界から浮いた話をしているように聞こえるかもしれませんが，実はそうではありません．処理系は C++ や Java などのメインストリーム言語で書かれており，力のある先輩のリーダーシップで途切れることなく進化発展を続けています．



これが一つめの言語 LMNtal の説明図です．

LMNtal では，データ構造はグラフ，計算はグラフの書き換えとして表現します．21世紀に入りたての頃は「21世紀のチューリングマシンを目指す」がスローガンでした（スライドタイトル参照）．

プログラミングＢの授業で OCaml でリスト連結プログラムを書きましたが，スライドの下の方の二つの四角が LMNtal によるリスト連結プログラムです（テキストでも書けます）．

これをスライドの上の方のグラフに作用させると，整数1〜5のリストと6〜9のリストが連結されて，1〜9が並んだリストができます．

（本当は Powerpoint の図がアニメーションになっています．）

これだけだとトイプログラムにしか見えないかもしれませんが，実はこいつが「大化け」して，ソフトウェア検証のための言語＋ツール（４年科目で扱うモデル検査器）として発展進化してきました．

単に実装を改良するだけでなく，新たな言語機能の提案も学生主導で続々と行われ，優れたものはメインストリームに統合されてきています．

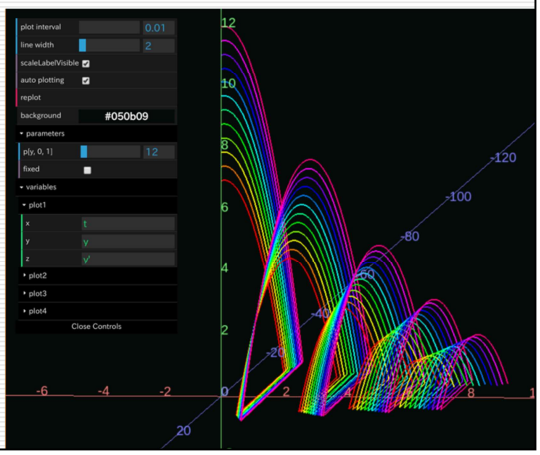
HydLa: ハイブリッド制約モデリング言語

- 連続と離散が共存するサイバーフィジカルシステムのための高水準モデリング言語とその高信頼処理系
- 論理・制約等の人工知能基盤技術をフル活用
  - ★ プログラミング言語・人工知能・数学の接点
  - ★ 実数計算と条件判断の正しい共存が挑戦的課題

```
INIT      ⇔ 7 < y < 12 & y' = 0.
FALL      ⇔ □ (y'' = −10).
BOUNCE ⇔ □ (y− = 0 ⇒ y' = −4/5 * y'−).

INIT, (FALL << BOUNCE).
```

弾むボールのHydLaプログラムと
webHydLa上での実行結果



これは二つめの言語 HydLa の説明です．

サイバーフィジカルシステムという用語を聞いたことがありますか．コンピュータと物理世界からなるシステムで，サーモスタットから自動運転車まで，電子機器やコンピュータと実世界とが相互作用する系はすべて含まれます．コンピュータは基本的に離散で物理世界は基本的に連続なので，離散と連続が共存するのが特徴です．

このような系をモデリングしてシミュレーション・検証するために，HydLa という言語とその処理系を作ってきました．左下が弾むボールの HydLa プログラムの例で，微分方程式を含む論理式を書くだけでシミュレーションしてくれます．さらに，初期条件が具体的に分かっていなくてもシミュレーションができるのが特徴です．右下が，統合環境 webHydLa で可視化した実行結果です．

上のようなふつうのシミュレータにない機能を実現するために，論理や制約などの人工知能基盤技術をフル活用しています．

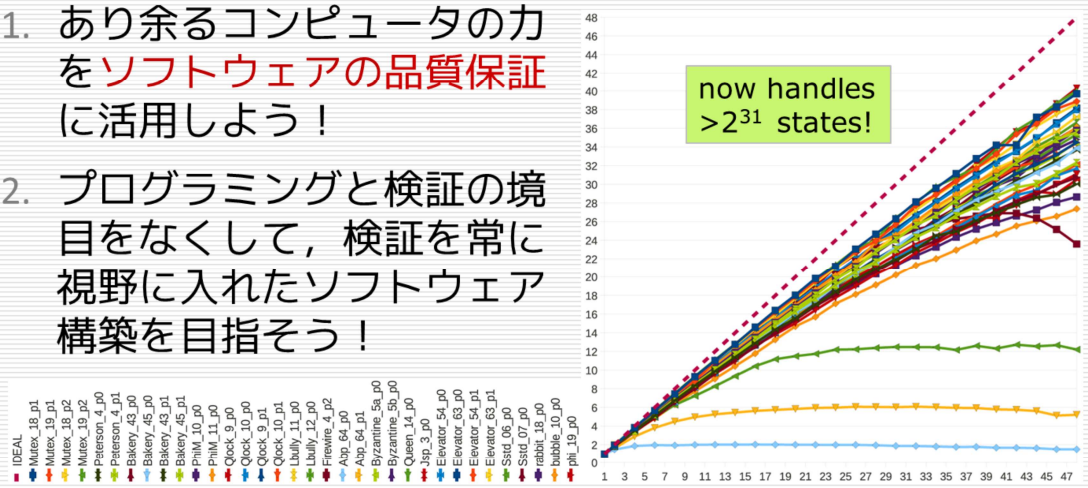
実数計算と条件判断は相性が悪くて，きちんと考えないと，シューティングゲームを作っても条件判断がちゃんとできなくて，弾丸が標的をすり抜けてしまったりします．この相性の悪い二つを数学的にきちんと共存させるために多くの工夫をこらしています．

システムは Github で公開を始めています．

ソフトウェアの高性能並列検証

以下の２つの動機の具現に取り組んでいます

1. あり余るコンピュータの力をソフトウェアの品質保証に活用しよう！
2. プログラミングと検証の境目をなくして，検証を常に視野に入れたソフトウェア構築を目指そう！



LMNtal並列モデル検査器の並列性能
(AMD Opteron (2.3GHz) 12-core x 4, 256GB)

M. Gocho, T. Hori and K. Ueda, *Computer Software*, **28**(4), 2011

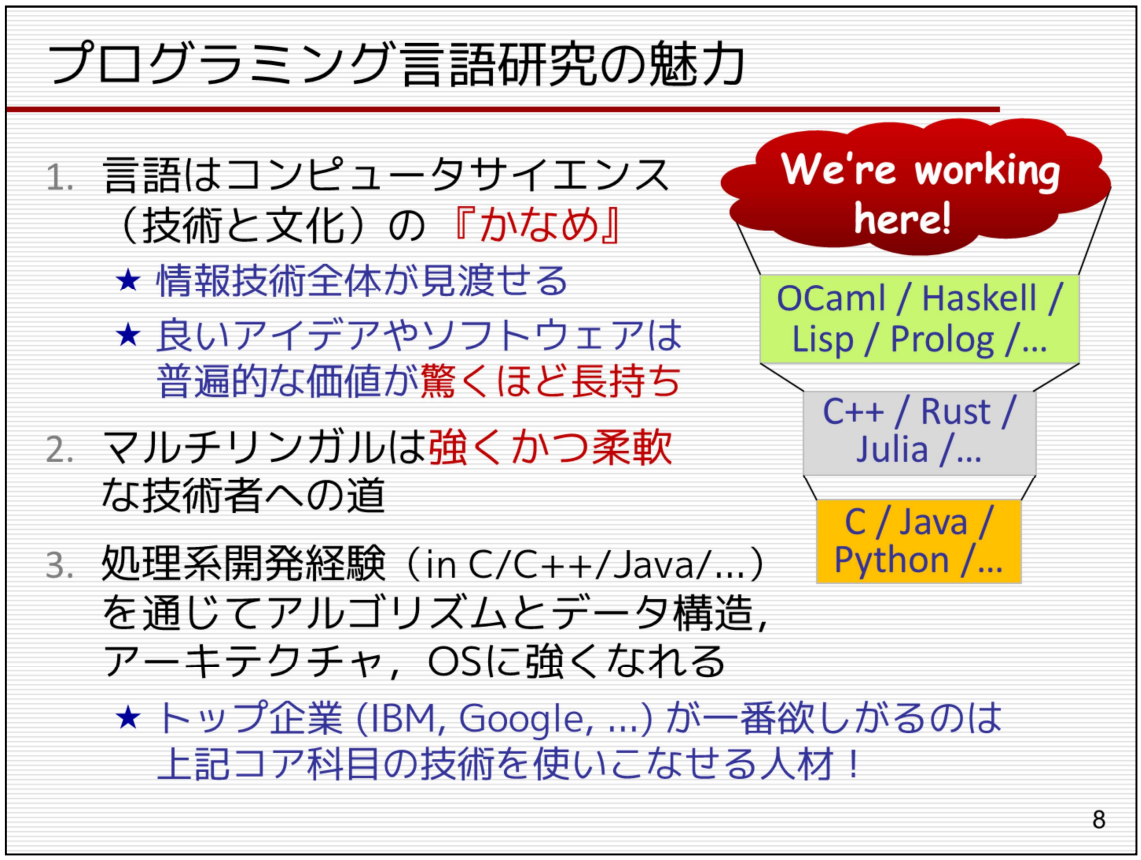
7

我々の身近にあるコンピュータのほとんどはマルチコアかメニーコアですが，その計算パワーを自分自身で活かしている人，活かせる人はごくわずかというのが現状です．

あり余る計算パワーの使い方として，最近ではディープラーニングが主流になってきましたが，我々はソフトウェアの品質保証に活用するという，社会基盤的に重要な方向で研究を進めています．

このスライドは，ソフトウェア検証の代表技術であるモデル検査ツールの並列効果を示すものです．ある学年の先輩がモデル検査器を作り，次の学年の先輩がプログラムを並列化して数々の工夫を施したところ，48コアのマシンで見事な並列効果が出ています．

このツールは，いまでは２の31乗，つまり数十億状態の状態空間を扱うことができるようになっています．



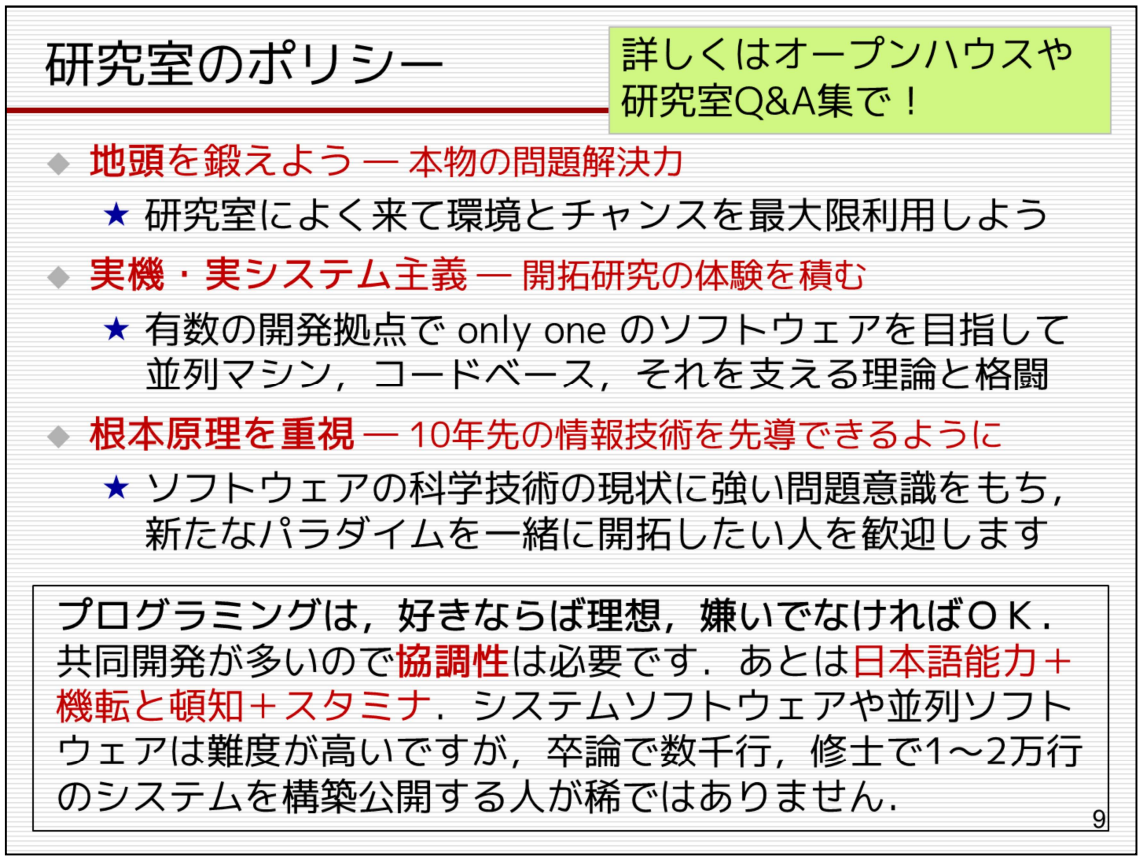
プログラミング言語に興味を持つことの利点や強みは何でしょうか？

一つは，言語はコンピュータサイエンスの技術や文化の「かなめ」となっていることです．「かなめ」を押さえておくと，情報技術全体が見渡せます．また「かなめ」の中にあるアイデアや，「かなめ」を実現するソフトウェアつまり言語処理系は，他のアプリケーションソフトとは大きく異なるタイムスケールで，普遍的な価値を保つことができます．

次に勧めたいのが，いろいろな言語に興味をもつことです．ただし，似た言語をたくさん知っていてもダメで，考え方の異なる言語にふれることが必要です．右上の図にいくつかの言語が並んでいますが，おそらく，階層の上の方の言語を知っている人は下の方の言語も知っているし使えるけど，逆は必ずしも成り立たないと思います．これが，マルチリンガルな技術者の強さです．

我々はプログラミング言語の基礎理論から実践までカバーしますが，実践で一番重要なのは処理系作りです．これは普通のプログラミングとは規模も難度も違いますが，卒論生でもその一部にかかわることが十分可能です．

いずれにせよ，言語処理系はアルゴリズムとデータ構造，コンピュータアーキテクチャ，ＯＳなどの知識と技術の総動員なので，プロジェクトにかかわることでこれらの分野の実力が自然に上がります．前にも述べたように，トップ企業が一番欲しがっているのが，最新技術や動向よりも，これらのコア科目の技術を使いこなせる人材です．



どの研究室にも研究の基本ポリシーというものがあると思いますが，我々のポリシーは以下の通りです．

1. 見たことのない新たな問題に対して，多面的に考えて解を見出す力，すなわち地頭（じあたま）を鍛えましょう．AI に一番苦手そうな部分ですね．これには，研究室に良く来て，各研究室特有の環境（専門書，優秀な先輩，おもちゃ，調理設備，その他なんでも）を最大限活用してほしいと思います．
2. 我々は論文を読んだり書いたりするにとどまらず，実マシン上で動く本格的なシステムを相手にします．学生主導でシステムソフトウェアを開発する経験とノウハウは世界有数で，作業のための並列マシンも，研究の土台となるコードベースもそろっています．
3. 研究室で身につけた知識やスキルがすぐ陳腐化しないように，ものごとの根本原理を重視します．根本原理はいったん身につけると一生ものになり，10年先の情報技術を先導する力になります．私見では，いまのソフトウェア技術はまだハイテクと呼べるものではありません．ソフトウェアの科学技術の現状に問題意識をもち，新たなパラダイムを一緒に開拓したい人を歓迎します．

最後に，ここまで読んでくれた人は，上田研は相当なプログラミングスキルを求めていると思うかもしれませんが，そうでもありません．プログラミングが好きならば理想ですが，とりあえず嫌いでなければOKです．ただし共同開発が多いので協調性は必要です．プログラミングのスキルよりも，日本語で物事を表現する力とか，機転と頓智とか，スタミナとかが役立つかもしれません．
ふつうのソフトウェアよりも挑戦的なことに取り組みますが，そばにいる人がばりばり作業する様子を見ることで，門前の小僧効果が期待できます．

個別面談の予定，Q&A集

- 研究室配属もプロジェクト研究も，ほぼ下記の時間帯に相談可能です．63号館５階05-02, 05-22です．
  最新情報は下記ウェブページで確認してください：
  https://www.ueda.info.waseda.ac.jp/~ueda/kenkyuusitu-j.html
  - ★ 3月18, 19日　11AM～1PM, 2PM～5PM
  - ★ 3月21日　11AM～2PM
- ほとんどの時間は先輩との相談も可能です．
- 事前連絡 (ueda@ueda.info.waseda.ac.jp) は歓迎ですが必須ではありません．アポなしか直前連絡で来て，面談中でなければすぐ対応し，面談中ならばその場で調整します．
- Q&A集も参考にしてください：
  https://www.ueda.info.waseda.ac.jp/faq/

10

教員や先輩との面談が可能な時間帯は，このスライドを参照してください．
上記のウェブサイトに，訪問や面談の最新情報を掲載します．
このウェブサイトからたどれる上田研Q&A集も参考になるかと思います．