

# 第4回誤り訂正符号のワークショップ開催報告

開催場所：石川県加賀市 白山菖蒲亭

開催期間：2015年9月2日(水)～9月3日(木)

誤り訂正符号のワークショップ実行委員長

野崎 隆之 (山口大学)

2015年9月2日(水)から9月3日(木)にかけて、石川県加賀市の白山菖蒲亭において、第4回誤り訂正符号のワークショップを開催いたしました。本ワークショップは情報理論とその応用サブソサイエティが主催するワークショップのひとつで、9月4日(金)に開催された情報理論研究会と併催しました。

ここ数年の誤り訂正符号のワークショップは9月下旬に開催しておりましたが、私立大学の夏休み期間に開催すべく今年度は9月上旬に開催いたしました。開催日を前倒しにした結果、スケジュールも前倒しになり、準備や開催案内の連絡が後手後手になってしまい、多くの方にご迷惑をお掛けいたしました。この場をお借りしてお詫び申し上げます。

さて、会場である白山菖蒲亭は加賀温泉駅からバスで10分ほどの場所にあり、涼しく静かで議論を交わすにはとても良い環境でした。また、石川県へは本年3月に開業した北陸新幹線によって関東近辺からのアクセスがしやすくなっており、実際に北陸新幹線を利用して金沢まで移動された参加者もいらっしゃいました。

本ワークショップは誤り訂正符号とその関連分野を対象に突っ込んだ議論を提供することを目的とし、合宿形式にて開催をしております。今年度も45名(内、学生13名)の参加者に恵まれ、招待講演を含む16件の講演がございました。今年度の主な企画は、毎年恒例の「特別講演」(4件)と、昨年実施され好評だった「入門講義」(3件)、そしてここ数年間実施されていなかった「国際会議参加報告」(2件)です。

さて、ワークショップ当日の様子ですが、どの講演でも活発な質疑がなされ休憩時間がほとんどなくなってしまう程で、休憩中も発表者を取り囲み議論をしている光景が度々見られました。また、参加者の多くが宿泊した白山菖蒲亭では豪勢な食事が振る

舞われ、露天風呂付きの大浴場で汗を流すことが出来き、さらに夜には客室でお酒を囲みながら親睦を深め、議論を交わしました。

9月2日(水)には、2件の特別講演と4件の一般講演がございました。特別講演では、東芝の内川様による「プリコードの無いプロトグラフに基づくLDPC符号の設計とMLCフラッシュメモリのセル間干渉抑制について」、東工大の金子先生による「挿入／削除／反転誤り通信路に対する誤り訂正符号」という題目でそれぞれご講演頂きました\*1。4件の一般講演では名工大の森さん、東工大の岡崎さん、名工大の川田さん、信州大の西新先生に日頃のご研究の成果をご発表頂き、初日のプログラムを終えました。

9月3日(木)の午前には、3件の入門講義があり、電通大の眞田先生に“Constrained coding and its applications for data storage media”，千葉大の萩原先生に「置換符号～Ulam 距離、Kendall-tau 距離、ユークリッド距離など～」、豊田工業大の松井先生に「符号理論と離散フーリエ変換」という題目で講義をしていただきました。入門講義は学生向けの企画のつもりでしたが、学生以外からの質問が多く挙がり、学生でなくとも興味深い内容だったようです。

9月3日(木)の午後には、参加学生による自己紹介と3件の一般講演、2件の国際会議参加報告、2件の特別講演がございました。一般講演では、千葉大の萩原先生と私が研究発表をし、豊田工業大の中島さんがサーベイをご発表下さいました。国際会議参加報告では、私がIEEE ISIT2015の報告をし、名工大の和田山先生に“First IEEE Seminar on Future Directions in Information Theory and Communications”の報告をして頂きました。最後に、特別講演として、東工大の森先生に「ホログラフィック変換

\*1 特別講演の内容は本報告の最後にまとめております。

とループ計算」, 千葉大学の藤原先生に “What if my syndrome is not reliable either? Coding theory for somewhat fault-tolerant quantum computing” という題目でご講演いただきました。藤原先生のご講演は板書による形式で進められ, 熱心にノートに書き写す学生さんもありました。

その後, 懇親会が情報理論研究会専門委員長の大濱先生による乾杯のもとにはじまりました。懇親会の最後の方では, 次回の誤り訂正符号のワークショップの実行委員長である東京理科大の細谷先生にご挨拶いただき, 私の一本締めで閉会となりました。

来年度の開催地や日程はまだ未定ですが, 決まり次第メーリングリスト・web ページなどでご案内いたします。多くの方々にご参加いただき, 本年度と同じように活発な議論を交わすことができれば幸いです。また個人的な思いですが, 本ワークショップを通じて多くの学生さんに符号理論の魅力を感じてもらい, 符号理論を研究する若手が増えることを願っております。

最後になりましたが, 第4回誤り訂正符号のワークショップを盛り上げてくださった参加者の皆様と開催にご尽力くださったワークショップ実行委員の皆様, および多大な援助をくださった SITA サブソサイエティに感謝いたします。また, 本開催報告を執筆するにあたり, スライドをご提供頂いた内川浩典様 (東芝), 金子晴彦先生 (東工大), 眞田亜紀子先生 (電通大), 萩原学先生 (千葉大) にお礼申し上げます。

## 特別講演の内容

内川様には, UCSD に滞在中に得られた2つの研究成果についてご講演いただきました。1つ目の成果は ISIT2014 でご発表された内容で, プリコード (パンクチャ) のないプロトグラフに基づく LDPC 符号を進化的アルゴリズムによって最適化し, 復号の反復回数が制限される状況下で既存のプロトグラフに基づく LDPC 符号より復号誤り率が低い符号を提案されていました。2つ目の成果は ICC2015 でご発表された内容で, MLC(4 値) フラッシュメモリのセル誤りはある種の非対称通信路になっていて誤りや

すい遷移のパターンが存在することと近年のフラッシュメモリではセル間干渉による誤りが支配的であることをご紹介頂き, 制約付符号を用いると誤り率を低減できることを実際のフラッシュメモリで示されていました。

金子先生には, 挿入/削除/反転誤り (IDS) 通信路に対する誤り訂正符号についてご講演頂きました。ご講演では, 磁気記録媒体における誤りをモデル化した通信路である IDS 通信路に関する既存のモデルを3種類ご紹介いただき, 既存の誤り訂正符号であるレーベンシュタイン符号の解説をして頂きました。その後に ISITA2014 でご発表された研究成果と今後の研究の展望についてご発表頂きました。特に, 今後の研究ではバーストエラーへの対応が重要とご指摘があり, 大変興味深い内容でした。

森先生には, ホログラフィック変換についてご講演頂きました。発表では, ホログラフィック変換について丁寧に解説して頂いた後に, 森先生によって考案されたホログラフィック変換の新しい解釈と一般確率論や量子計算への応用についてご講演いただき, 最後にループ計算との関連を示して頂きました。予定していた発表時間を大幅に越す長時間のご講演をして頂き, 充実した内容でした。

藤原先生には, 量子誤り訂正符号の解説からしていただき, 問題設定であるシンドローム復号中に誤りが生じる状況を示して頂きました。そして藤原先生の研究成果である, 復号中に誤りが生じる状況下でも正しく復号できる符号の構成法についてご解説して頂きました。特に, 符号の構成法に関しては簡単な例をいくつか挙げて頂いたおかげで, 理解を深めることができました。また, 板書による長時間のご講演にも関わらず, メモなどは一切見ずに話を進めていらっしゃった点がとても印象的でした。

## 入門講義の内容

眞田先生には制約符号について講義して頂きました。制約符号がどのような状況下で使われるかを解説して頂き, Sofic shift, Forbidden words, Shannon cover, de Bruijn graph, CMR 表現など制約符号を理解する上で重要な概念について例を挙げて説明し

て頂きました。講演の最後には真田先生オススの制約符号の教科書\*2を实际に持ってきて頂き、参加者の前で示されていきました。

萩原先生には置換符号について講義して頂きました。置換符号の定義と Rank modulation をはじめとする応用先の紹介から始まり、通信路モデルを導入するためのいくつかの距離 (ユークリッド距離, Kendall  $\tau$  距離, Ulam 距離) の紹介, そしてそれぞれの距離に対応した置換符号の構成法を解説して頂

きました。

松井先生には一般化擬巡回符号についてと離散フーリエ変換についてご講演頂きました。講義の一番初めには、学生向けに誤り訂正符号が必要な理由についてからお話頂きました。その後は一般化擬巡回符号の定義と最小距離の大きい一般化擬巡回符号の構成法についてご講演いただきました。後半では符号理論における離散フーリエ変換の活用法について解説頂きました。



図1 講演中の様子 (講演者: 藤原先生)



図2 参加者の集合写真



図3 懇親会の食事の一部。1日目の夕食や朝食も同様に豪華なものでした。

\*2 D. Lind and B.H. Marcus, "An Introduction to Symbolic Dynamics and Coding," Cambridge University Press