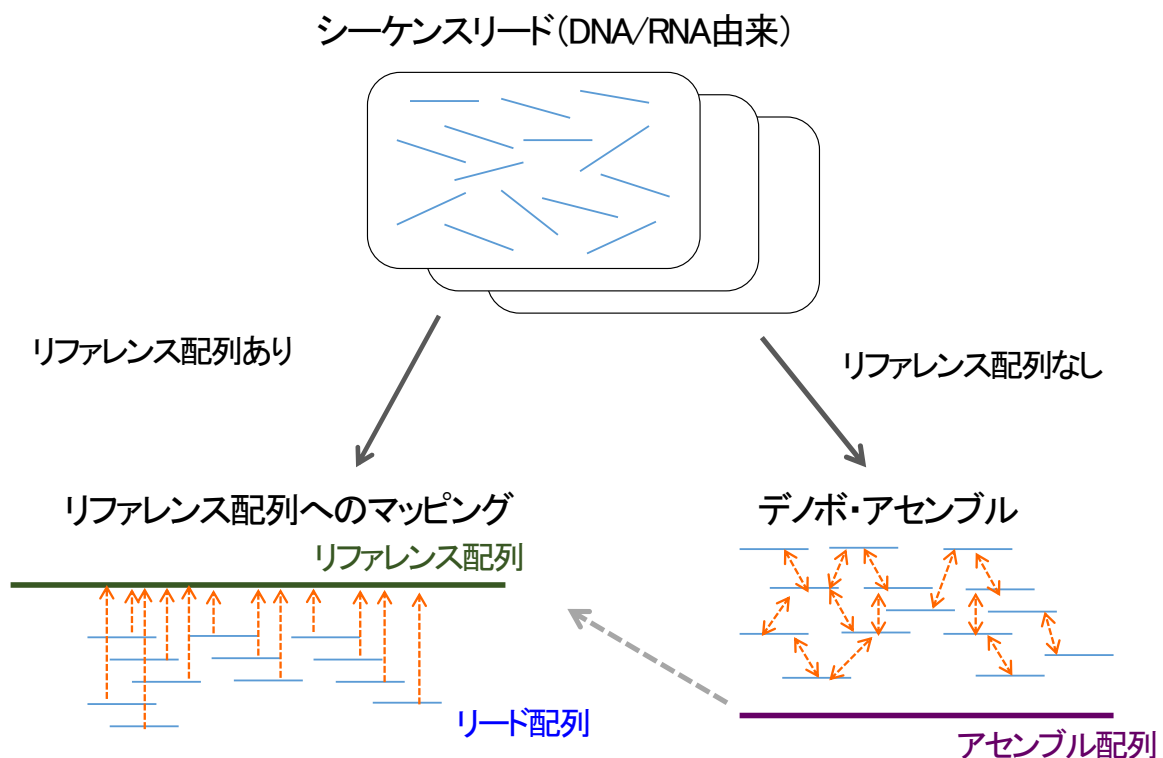


クオリティコントロールと NGS基本ツール

基礎生物学研究所
生物機能解析センター
山口勝司

NGSデータ処理の概要



[illegible]

```
chr RefSeq start_codon 190 192 1.000 + . gene_id "b0001"; transcript_id "b0001";
chr RefSeq CDS 190 252 1.000 + 0 gene_id "b0001"; transcript_id "b0001";
chr RefSeq stop_codon 253 255 1.000 + . gene_id "b0001"; transcript_id "b0001";
chr RefSeq exon 190 255 1.000 + . gene_id "b0001"; transcript>
```

>chr
AGCTTTTCATCTTCGACGACGACGGGCAATPGTCT
CTGCTGCTGCTTAAAAAAGAGCGAGCGAGTACAC
TTCGACGAGCTTACCTGGCGTCAAGTAATTAATA
TTTTTGTGCTTAGGTCACCAATATCTTTAATCA
TTAGCGCTATGCGGCGACGAGCGATTAATAATG
AGTACATCTCTCTGACGAGCTTATGCTACAC
ATTACACCACTACCACTATACCACTAGGTAACG


⑧H	Wn1.0	SOunsorted						
⑧G	Snchr	IN:4639675						
⑧Q	Idbawtie2	Ribbowtie2	Wn2.2.4			CL:"/bio/bin/tbwtie2-align		
SR1515276.40	0 chr	4423609	42 51M	*	0	0		GAATTCACACACCTCA
SR1515276.158	16 chr	501700	42 51M	*	0	0		ACCCGCGCGCGACGAG
SR1515276.212	4 *	0	0 *	*	0	0		GGCCCTCTTACGCGCGT
SR1515276.319	0 chr	2922768	42 51M	*	0	0		CGTTTACTTGTGTGATG
SR1515276.367	16 chr	2753873	42 51M	*	0	0		CGGCGCGCGCGCGAC
SR1515276.411	0 chr	3440721	42 51M	*	0	0		ATCCCGATATCTCTCTGA
SR1515276.434	0 chr	4198737	42 51M	*	0	0		CGGCGCGCGCGCGCG

クオリティーコントロール

NGSデータ解析におけるクオリティーコントロールの重要性

- ・ 得られるdataのクオリティーは同一ではない
シーケンサーの調子 エアーかみ
作製ライブラリーのサイズ分布
シーケンサー間の性能差
- ・ 作製したライブラリーに問題はなかったか
コンタミ配列の有無
短いライブラリーほどクラスター増幅されやすい
アダプター配列ばかりではないか
GC率に偏りがあるものは増幅されにくい
PCR増幅の適性度

シーケンスのクオリティーcheckツール FASTQC

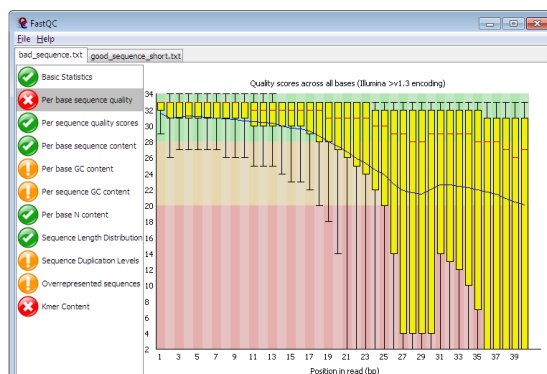
 Babraham Bioinformatics

[About](#) | [People](#) | [Services](#) | [Projects](#) | [Training](#) | [Publications](#)

FastQC

Function	A quality control tool for high throughput sequence data.
Language	Java
Requirements	A suitable Java Runtime Environment The Picard BAM/SAM Libraries (included in download)
Code Maturity	Stable. Mature code, but feedback is appreciated.
Code Released	Yes, under GPL v3 or later .
Initial Contact	Simon Andrews

[Download Now](#)



Documentation

A [copy of the FastQC](#) documentation is available for you to try before you buy (well download ..).

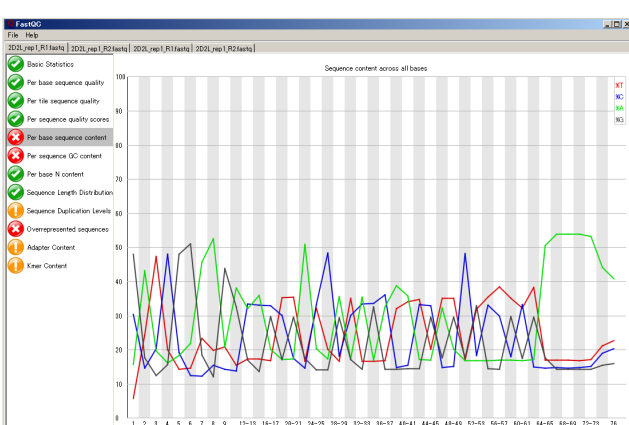
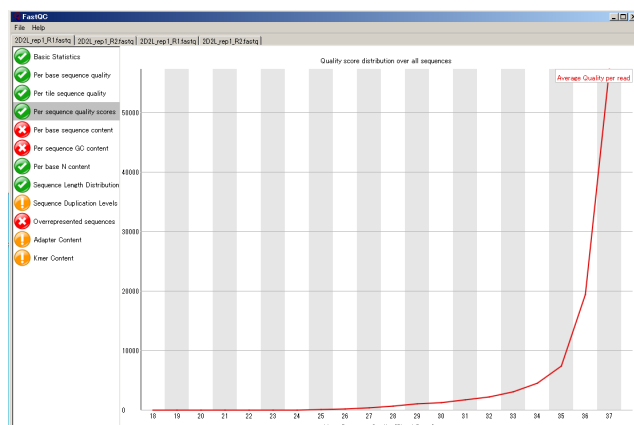
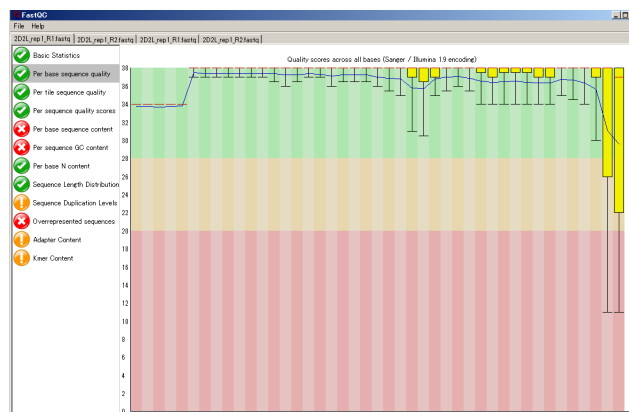
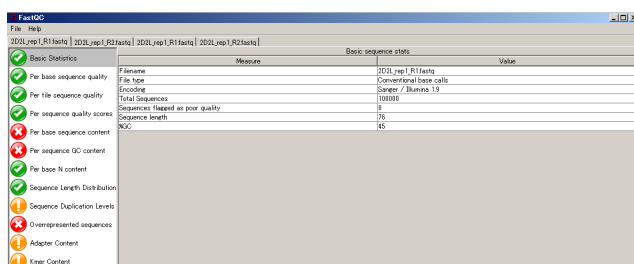
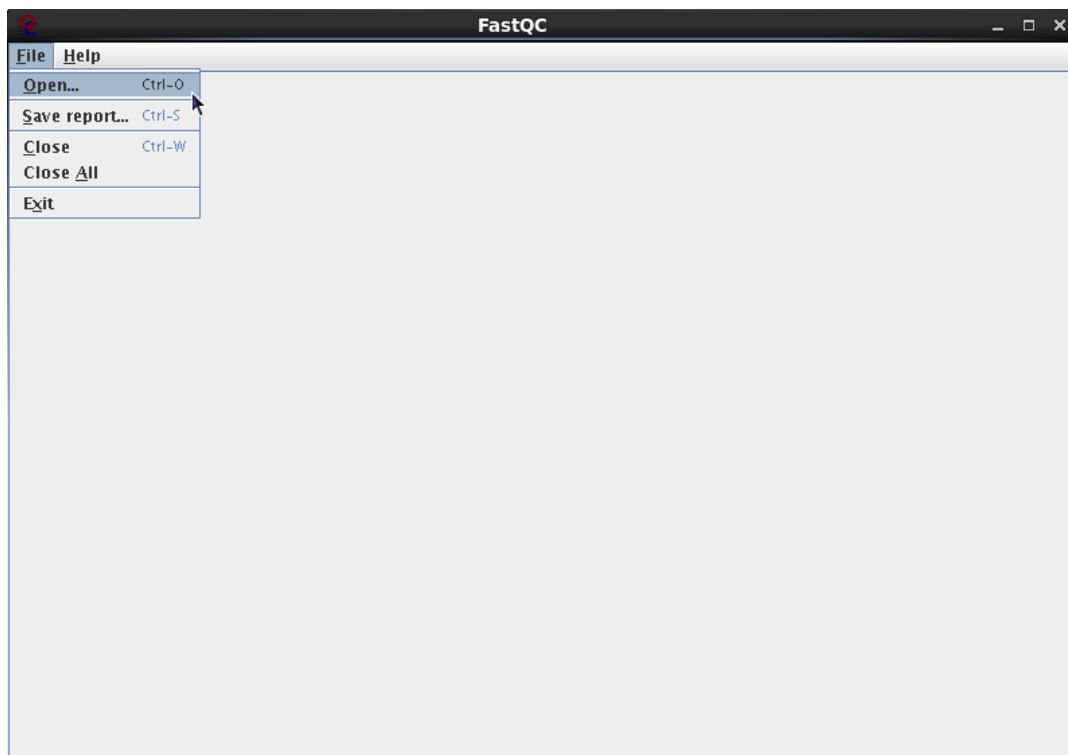
Example Reports

- [Good Illumina Data](#)
- [Bad Illumina Data](#)
- [Adapter dimer contaminated run](#)
- [Small RNA with read-through adapter](#)
- [Reduced Representation BS-Seq](#)
- [PacBio](#)
- [454](#)

FASTQC使用法

GUI

java jdkを予めインストールしておく必要がある。



実習 1 FASTQC

実習用ディレクトリ `~/data/5_ngs` に移動して `ls` で中を見る

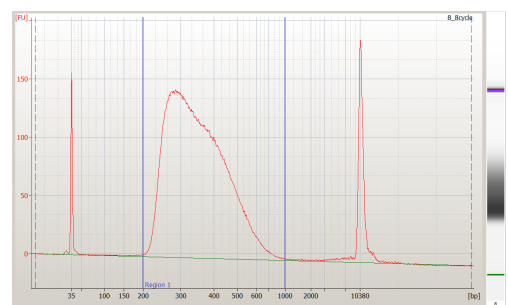
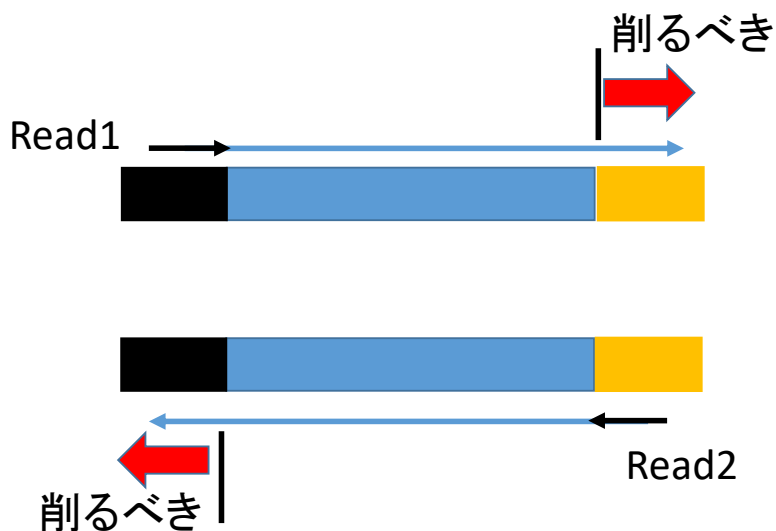
```
$ cd ~/data/5_ngs
$ ls
```

- read結果 2D2L_rep1_R1.fastq

これをFASTQCに読み込ませてクオリティーを確認しよう

NGSデータのPre-processingの必要性

- 余計な配列 (アダプター配列) があるとリファレンス配列への mapping に影響
- 余計な配列 (アダプター配列) がゲノム配列と誤認されうる



通常イルミナRNA-Seqライブラリーは200baseくらいの長さから存在するうち両端にアダプター63baseずつ

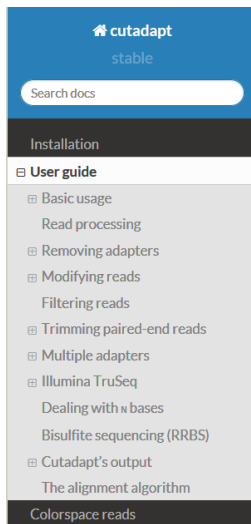
Pre-processing tools

以下の2ツールが有名

- Cutadapt
- Trimmomatic

- adapter配列を除去
- 一定クオリティー以下の部位を除去
- 任意の配列部位を除去

生データ进行处理することで一定のクオリティーを確保したデータとなる



Docs » User guide

[Edit on GitHub](#)

User guide

Basic usage

If you just want to trim a 3' adapter, the basic command-line for cutadapt is:

```
cutadapt -a AACCGGTT -o output.fastq input.fastq
```

The sequence of the adapter is given with the `-a` option. Of course, you need to replace `AACCGGTT` with your actual adapter sequence. Reads are read from the input file `input.fastq` and written to the output file `output.fastq`.

Cutadapt searches for the adapter in all reads and removes it when it finds it. All reads that were present in the input file will also be present in the output file, some of them trimmed, some of them not. Even reads that were trimmed entirely (because the adapter was found in the very beginning) are output. All of this can be changed with command-line options, explained further down.

A report is printed after cutadapt has finished processing the reads.

Paired end readに対応
(ver. 1.8以降)
片方のreadが非常に
短くしか残らない場合、
pair read両方とも除去する。

<http://cutadapt.readthedocs.org/en/stable/guide.html>

MacOSXでのcutadaptのインストール

Cutadapt install手順

Cython をダウンロード

<https://pypi.python.org/pypi/Cython/>
から[Cython-0.25.2.tar.gz](https://pypi.python.org/pypi/Cython/0.25.2#downloads)をダウンロード

cd Cython-0.25.2

sudo python setup.py install

cd ..

git clone

<https://github.com/marcelm/cutadapt>

cd cutadapt

sudo python setup.py install

現状最新はver. 1.15

<http://cutadapt.readthedocs.io/en/stable/installation.html>

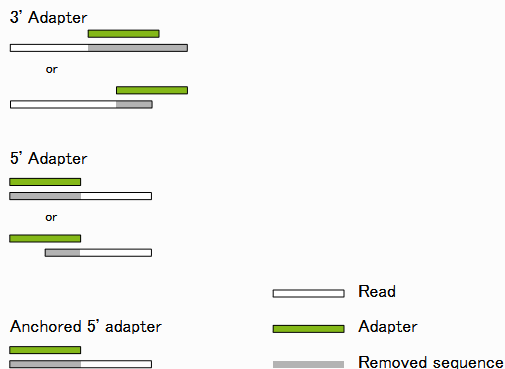
Cutadapt

Removing adapters

Cutadapt supports trimming of multiple types of adapters:

Adapter type	Command-line option
3' adapter	<code>-a ADAPTER</code>
5' adapter	<code>-g ADAPTER</code>
Anchored 3' adapter	<code>-a ADAPTER\$</code>
Anchored 5' adapter	<code>-g ^ADAPTER</code>
5' or 3' (both possible)	<code>-b ADAPTER</code>

Here is an illustration of the allowed adapter locations relative to the read and depending on the adapter type:



Cutしたいアダプター配列の
位置関係など詳細に指定可能

fastqファイルはgz圧縮してあってもよい
fastaファイルも可

```
$ cutadapt
```

```
cutadapt version 1.15
```

```
Copyright (C) 2010-2017 Marcel Martin <marcel.martin@scilifelab.se>
```

cutadapt removes adapter sequences from high-throughput sequencing reads.

single read

```
cutadapt -a ADAPTER [options] [-o output.fastq] input.fastq
```

paired-end reads

```
cutadapt -a ADAPT1 -A ADAPT2 [options] -o out1.fastq -p out2.fastq in1.fastq in2.fastq
```

他、重要なパラメータ

`-q --quality-cutoff`

クオリティーcutoffするQV値を指定

`-m --minimum-length`

指定する長さ以下にcutされたものはreadそのものを削除 `-O`

`-O --overlap`

指定する配列とのオーバーラップを最小何baseとするか

crude_fastqフォルダーに生シーケンス配列

trim_fastqフォルダーにcutadaptにかけた配列

を用意してあります

Single readの場合

```
$ cutadapt ¥  
-a AGATCGGAAGAGCACACGTCTGAACTCCAGTCAC ¥  
-o hoge_read1.cut.fastq ¥  
hoge_read1.fastq
```

Paired end readの場合

```
$ cutadapt ¥  
-a AGATCGGAAGAGCACACGTCTGAACTCCAGTCAC ¥  
-A AGATCGGAAGAGCGTCGTGTAGGGAAAGAGTGTAGATCTCGGTGGTCGCCGTATC  
-o hoge_read1.cut.fastq ¥  
-p hoge_read2.cut.fastq ¥  
hoge_read1.fastq ¥  
hoge_read2.fastq
```

実習 2 cutadapt

実習用ディレクトリ ~/data/5_ngs に移動してls で中を見る

```
$ cd ~/data/5_ngs  
$ ls
```

- read結果 2D2L_rep1_R1.fastq

adapterがどの程度残っているか概算してみる

```
$ cat 2D2L_rep1_R1.fastq|grep 'AGATCGGAAGAGCAC'|wc  
$ cat 2D2L_rep1_R1.fastq|wc
```

実際にcutadaptにかけて見よう

```
$ cutadapt ¥  
-a AGATCGGAAGAGCACACGTCTGAACTCCAGTCAC ¥  
-o 2D2L_rep1_R1.fastq.cut.fastq ¥  
2D2L_rep1_R1.fastq
```

注) 圧縮されたQV値

fastqファイルに記載されるQV値は、近年のシーケンサーではストレージ容量削減の為、圧縮効率の良い圧縮されたqv値が用いられている。

この場合、quality valueの階調数が減らされているので、それを考慮して-q値を指定すべき。

圧縮されたQV値で表記されたfastq

```
@E00441:177:HHNWCCXY:6:1101:13433:25464 1:N:0:GTGTATTA
AATGTGCGTTTGTGGGATAGGACATTTGTCAGCTACGCGCCGGCTCTCTGTGAAGTAATTGGTTGAATGAATAAA
+
AAFFFFJJJFF-AFAF7A<<FJJF<AFJJJJJ7<FJJJJF-7F-7FJJFJ-A-FFAFJF-FFJJA-FJAFJJ<AAFA
```

-	12	A	32
7	22	F	37
<	27	J	41

数が限定されている
-q 31と28を比較しても
同じことになる



Illumina White paper
Reducing Whole-Genome Data Storage Footprint by
J

NGS基本ツール

- Seqkit
- Bowtie2
- SAMtools
- HT-Seq

SeqKitを使って見よう

fasta/fastqに関する様々な操作が可能なツール



RESEARCH ARTICLE

SeqKit: A Cross-Platform and Ultrafast Toolkit for FASTA/Q File Manipulation

Wei Shen¹, Shuai Le¹, Yan Li^{2*}, Fuquan Hu^{1*}

1 Department of Microbiology, College of Basic Medical Sciences, Third Military Medical University, 30# Gaotanyan St., Shapingba District, Chongqing, China, **2** Medical Research Center, Southwest hospital, Third Military Medical University, 29# Gaotanyan St., Shapingba District, Chongqing, China

SeqKitで出来ること、類似ツールとの比較

Features comparison

Categories	Features	seqkit	fasta_utilities	fastx_toolkit	pyfaidx	seqmagick	seqtk
Formats support	Multi-line FASTA	Yes	Yes	--	Yes	Yes	Yes
	FASTQ	Yes	Yes	Yes	--	Yes	Yes
	Multi-line FASTQ	Yes	Yes	--	--	Yes	Yes
	Validating sequences	Yes	--	Yes	Yes	--	--
Functions	Supporting RNA	Yes	Yes	--	--	Yes	Yes
	Searching by motifs	Yes	Yes	--	--	Yes	--
	Sampling	Yes	--	--	--	Yes	Yes
	Extracting sub-sequence	Yes	Yes	--	Yes	Yes	Yes
	Removing duplicates	Yes	--	--	--	Partly	--
	Splitting	Yes	Yes	--	Partly	--	--
	Splitting by seq	Yes	--	Yes	Yes	--	--
	Shuffling	Yes	--	--	--	--	--
	Sorting	Yes	Yes	--	--	Yes	--
	Locating motifs	Yes	--	--	--	--	--
	Common sequences	Yes	--	--	--	--	--
	Cleaning bases	Yes	Yes	Yes	Yes	--	--
	Transcription	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Translation	--	Yes	Yes	Yes	Yes	--
	Filtering by size	Yes	Yes	--	Yes	Yes	--
	Renaming header	Yes	Yes	--	--	Yes	Yes
Other features	Cross-platform	Yes	Partly	Partly	Yes	Yes	Yes
	Reading STDIN	Yes	Yes	Yes	--	Yes	Yes
	Reading gzipped file	Yes	Yes	--	--	Yes	Yes
	Writing gzip file	Yes	--	--	--	Yes	--

類似のツールと比較して、より多くのコマンドが利用でき、高速である。

gz圧縮にも対応している。

<https://github.com/shenwei356/seqkit>

```
$ seqkit
SeqKit -- a cross-platform and ultrafast toolkit for FASTA/Q file manipulation
Version: 0.7.2
Author: Wei Shen <shenwei356@gmail.com>
```

```
Documents : http://bioinf.shenwei.me/seqkit
Source code: https://github.com/shenwei356/seqkit
Please cite: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163962
```

```
Suggestion : Install pigz to gain better parsing performance for gzipped data
```

```
Usage:
seqkit [command]
```

Available Commands:

common	find common sequences of multiple files by id/name/sequence
concat	concatenate sequences with same ID from multiple files
convert	convert FASTQ quality encoding between Sanger, Solexa and Illumina
duplicate	duplicate sequences N times
faidx	create FASTA index file and extract subsequence
fq2fa	convert FASTQ to FASTA
fx2tab	convert FASTA/Q to tabular format (with length/GC content/GC skew)
genautocomplete	generate shell autocompletion script
grep	search sequences by pattern(s) of name or sequence motifs
head	print first N FASTA/Q records
help	Help about any command
locate	locate subsequences/motifs
range	print FASTA/Q records in a range (start:end)
rename	rename duplicated IDs
replace	replace name/sequence by regular expression
restart	reset start position for circular genome
rmdup	remove duplicated sequences by id/name/sequence
sample	sample sequences by number or proportion
seq	transform sequences (reverse, complement, extract ID...)
shuffle	shuffle sequences
sliding	sliding sequences, circular genome supported
sort	sort sequences by id/name/sequence/length
split	split sequences into files by id/seq region/size/parts
stats	simple statistics of FASTA/Q files
subseq	get subsequences by region/gtf/bed, including flanking sequences
tab2fx	convert tabular format to FASTA/Q format
version	print version information and check for update

seqkitと打つとサブコマンドリストが出る
サブコマンドリストまで打って-hで、
その使い方や説明

Seqkitコマンド例

fastq/fastaファイルのstatisticsを見る

```
$ seqkit stats hoge.fastq
```

fastqファイルからfastqファイルに変換する

```
$ seqkit fq2fa hoge.fastq > hoge.fasta
```

fastq/fastqファイルを複数のファイルに分割する

```
seqkit split -p 2 hoge.fastq
```

fastq/fastqファイルから一部のsamplingする

-nで指定する数は厳密なsampling数とは合致しないので注意

```
$ seqkit sample -n 100 hoge.fastq > hoge_100.fastq
```

fastq/fastaファイルのread順番をシャッフルする

```
$ seqkit shuffle hoge.fastq > shf_hoge.fastq
```

実習 3 seqkit

実習用ディレクトリ `~/data/5_ngs` に移動して `ls` で中を見る

```
$ cd ~/data/5_ngs
$ ls
```

- read結果 `2D2L_rep1_R1.fastq`

statsを確認する

```
$ seqkit stats 2D2L_rep1_R1.fastq
```

fastqからfastaへ変換する

```
$ seqkit fq2fa 2D2L_rep1_R1.fastq > 2D2L_rep1_R1.fasta
```

fastqファイルを3つに分割する

```
$ seqkit split -p 3 2D2L_rep1_R1.fastq
```

フォルダーが新規に作成され、分割されたファイルが出来ている

注) read dataのランダムサンプリング

イルミナ社のシーケンサーではread結果はスキャンクラスターの場所ごとに並ぶことになる。

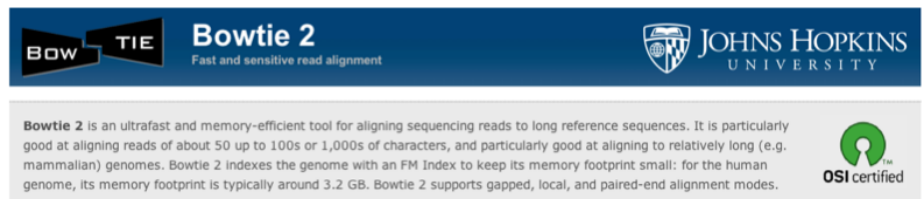
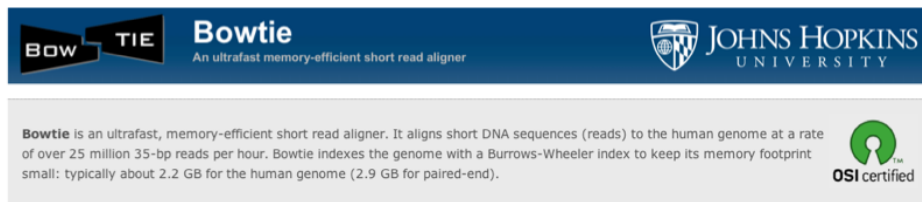
よって、`head`などのコマンドで先頭のデータをサンプリングすると、隅のクラスターのシーケンス結果を得ることになる。

一般に隅のクラスターは試薬流路上、クオリティーの低いシーケンスリードが多く、これを全リードの代表として扱うのは問題である。

代表的なシーケンスreadを得るには、`seqkit`の`sample`や`shuffle`の機能が使える。

Bowtieを使って見よう

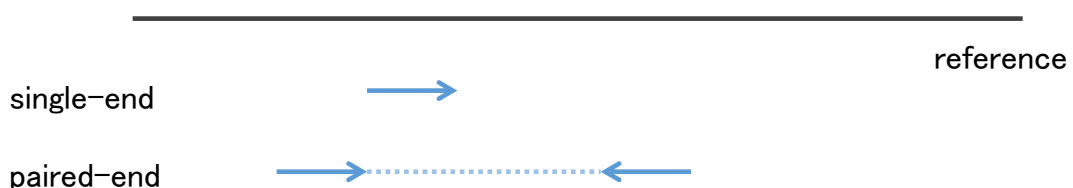
- Burrows-Wheeler 変換に基づくインデックスを利用したショートリードのマッピングプログラム
- BowtieとBowtie2がある。後者はギャップを考慮した検索を行い、感度がより高い。また、検索の方針が単純化されて分かりやすくなるなど、多くの点で改良されている。
- シーケンスのリード長が長い(50bp以上)時はBowtie2の方が一般に検索効率がよく、精度も高い。リード長が短い(50bp未満)時はBowtieの方が検索効率または精度がいい場合もある。



リファレンス配列へのマッピング

Bowtie, BWA, SOAP など

- 長大なリファレンス配列に、大量の短いリード配列を若干のミスマッチを許して照合する
- リファレンス配列に対して、あらかじめ全文検索インデックスを作成することにより高速に検索を行う
- paired-end read に対応。



インデックスとは



辞書における
インデックスタブ

- 索引、目次、見出し
- ファイルのどの辺りに何が書いてあるかの指標
- インデックスを作成すると別ファイルができるのは、分厚い本の「別冊目次」ができるイメージ
 - 欲しい情報を探すのにファイル(本)を先頭から総ナメして探さなくてもよい

NGSリファレンス配列のインデックスを作成 **bowtie2-build**

`bowtie2-build` リファレンス配列ファイル インデックス名

- 実行すると、インデックスとして、
 - ✓ インデックス名.n.bt2 (n=1-4)
 - ✓ インデックス名.rev.m.bt2 (m=1-2)の、計6つのファイルが作成される
- 配列ファイルはカンマで区切って複数を指定可能

実習 4 bowtie2-build

実習用ディレクトリ `~/data/5_ngs` に移動して `ls` で中を見る

```
$ cd ~/data/5_ngs
$ ls
```

- リファレンス用ゲノムデータ(FASTA形式)`ecoli_genome.fa`
- bowtie2用インデックスの作成(インデックス名:`eco`)

```
$ bowtie2-build ecoli_genome.fa eco
```

- インデックスから元の配列データを再構築

```
$ bowtie2-inspect eco | less
```

NGSマッピングの実行 bowtie2

- マッピングの実行

✓ single-end read の場合

```
bowtie2 -x インデックス名 -U リードファイル -S 出力ファイル
```

✓ paired-end read の場合

```
bowtie2 -x インデックス名 -1 リードファイル1  
          -2 リードファイル2 -S 出力ファイル
```

(実際は改行せずに1行で打つ)

- リードファイルはカンマ区切りで複数を指定可能

実習 5 bowtie2

- リード配列 (FASTQ 形式, single-end read)
ecoli.fastq

リファレンス配列のインデックス名 (実習4で作ったもの)
eco

- bowtie2の実行

```
$ bowtie2 -x eco -U ecoli.fastq -S eco_bowtie2.sam
```

マッピング結果: SAMフォーマットファイル

```
$ less -S eco_bowtie2.sam
```

```
@HD VN:1.3 SO:coordinate
@SQ SN:ref LN:45
r001 163 chr1 7 30 8M2I4M1D3M = 37 39 TTAGATAAAAGGATACTG *
r002 0 chr1 9 30 3S6M1P1I4M * 0 0 AAAAGATAAGGATA *
r003 0 chr1 9 30 5H6M * 0 0 AGCTAA * NM:i:1
r004 0 chr1 16 30 6M14N5M * 0 0 ATAGCTTCAGC *
r003 16 chr1 29 30 6H5M * 0 0 TAGGC * NM:i:0
r001 83 chr1 37 30 M = 7 -39 CAGCGCCAT *
```

テンプレート名	フラグ	マップ結果	アライメント (CIGAR)	対となるリードの位置情報	リードの配列	オプション
---------	-----	-------	----------------	--------------	--------	-------

Bowtie2: その他のオプション

- **-h** ヘルプを表示する
- **-a** 全てのアライメントを表示する
- **-p 整数** 指定した数のCPUコアを使って実行する
- **-f** リードがFASTA形式のファイルである

- 他、Bowtie2 マニュアル詳細

<http://bowtie-bio.sourceforge.net/bowtie2/manual.shtml>

Samtoolsを使って見よう

Samtools

HomeDownloadWorkflowsDocumentationSupport

Samtools

SAM<->BAM等の変換、データのソート、検索付け、
特定readの抽出、統計情報収集などができる

Samtools is a suite of programs for interacting with high-throughput sequencing data. It consists of three separate repositories:

Samtools	Reading/writing/editing/indexing/viewing SAM/BAM/CRAM format
BCFtools	Reading/writing BCF2/VCF/gVCF files and calling/filtering/summarising SNP and short indel sequence variants
HTSlib	A C library for reading/writing high-throughput sequencing data

Samtools and BCFtools both use HTSlib internally, but these source packages contain their own copies of htslib so they can be built independently.

Download

Source code releases can be downloaded from [GitHub](#) or [Sourceforge](#):

Source release details

Workflows

We have described some standard workflows using Samtools:

- WGS/WES Mapping to Variant Calls
- Using CRAM within Samtools

Documentation

- Manuals
- Specifications
- Duplicate Marking
- Zlib Benchmarks
- CRAM Benchmarks
- Publications

Support

- Mailing Lists

現行の最新はv1.7

バージョンによってオプションの与え方が変わっているコマンドに注意

NGSデータを扱うための最も基盤となるツール

Samtoolsの起動

\$ samtools

```
[kyamaguc@raid2016 bin]$ samtools

Program: samtools (Tools for alignments in the SAM format)
Version: 1.7 (using htslib 1.7)
Usage:  samtools <command> [options]

Commands:
  -- Indexing
    dict          create a sequence dictionary file
    faidx         index/extract FASTA
    index         index alignment
  -- Editing
    calmd         recalculate MD/NM tags and '=' bases
    fixmate       fix mate information
    reheader      replace BAM header
    targetcut     cut fosmid regions (for fosmid pool only)
    addreplacerg  adds or replaces RG tags
    markdup       mark duplicates
  -- File operations
    collate       shuffle and group alignments by name
    cat           concatenate BAMs
    merge         merge sorted alignments
    mpileup       multi-way pileup
    sort          sort alignment file
    split         splits a file by read group
    quickcheck    quickly check if SAM/BAM/CRAM file appears intact
    fastq         converts a BAM to a FASTQ
    fasta         converts a BAM to a FASTA
  -- Statistics
    bedcov        read depth per BED region
    depth         compute the depth
    flagstat      simple stats
    idxstats      BAM index stats
    phase         phase heterozygotes
    stats         generate stats (former bamcheck)
  -- Viewing
    flags         explain BAM flags
    tview         text alignment viewer
    view          SAM<->BAM<->CRAM conversion
    depad         convert padded BAM to unpadded BAM
```

オプション/引数
なしで起動すると
Samtools の基本的な
使い方が表示される

実習しながら
進めます

Samtools の起動: コマンド簡易マニュアル

基本的な使い方: `$ samtools command options`

\$ samtools view

```
Usage: samtools view [options] <in.bam>|<in.sam>|<in.cram> [region ...]

Options:
  -b          output BAM
  -C          output CRAM (requires -T)
  -l          use fast BAM compression (implies -b)
  -u          uncompressed BAM output (implies -b)
  -h          include header in SAM output
  -H          print SAM header only (no alignments)
  -c          print only the count of matching records
  -o FILE     output file name [stdout]
  -U FILE     output reads not selected by filters to FILE [null]
  -t FILE     FILE listing reference names and lengths (see long help) [null]
  -L FILE     only include reads overlapping this BED FILE [null]
  -r STR      only include reads in read group STR [null]
  -R FILE     only include reads with read group listed in FILE [null]
  -q INT      only include reads with mapping quality >= INT [0]
  -l STR      only include reads in library STR [null]
  -m INT      only include reads with number of CIGAR operations consuming
               query sequence >= INT [0]
  -f INT      only include reads with all of the FLAGS in INT present [0]
  -F INT      only include reads with none of the FLAGS in INT present [0]
  -G INT      only EXCLUDE reads with all of the FLAGS in INT present [0]
  -s FLOAT    subsample reads (given INT.FRAC option value, 0.FRAC is the
               fraction of templates/read pairs to keep; INT part sets seed)
  :
  :
```

- コマンドを付けてオプション無しで実行するとそのコマンドのマニュアルが表示される
- 詳細は <http://www.htslib.org/doc/samtools.html> を参照のこと

SAM/BAM変換

`samtools view options...`

- SAMファイルからBAMファイルの作成

```
$ samtools view -bS eco_bowtie2.sam -o eco_bowtie2.bam
```

- BAMをSAMに変換して less コマンドで表示

```
$ samtools view eco_bowtie2.bam | less
```

- BAMファイルを less で読もうとすると...?

```
$ less eco_bowtie2.bam
```

- SAMファイルに比べてBAMファイルのサイズは？

```
$ ls -l eco_bowtie2.*
```

Samtoolsによるsort

`samtools sort options...`

```
$ samtools sort
Usage: samtools sort [options...] [in.bam]
Options:
  -l INT      Set compression level, from 0 (uncompressed) to 9 (best)
  -m INT      Set maximum memory per thread; suffix K/M/G recognized [768M]
  -n          Sort by read name
  -t TAG      Sort by value of TAG. Uses position as secondary index (or read name if -n is set)
  -o FILE     Write final output to FILE rather than standard output
  -T PREFIX   Write temporary files to PREFIX.nnnn.bam
  --input-fmt-option OPT[=VAL]
               Specify a single input file format option in the form
               of OPTION or OPTION=VALUE
  -O, --output-fmt FORMAT[,OPT[=VAL]]...
               Specify output format (SAM, BAM, CRAM)
  --output-fmt-option OPT[=VAL]
               Specify a single output file format option in the form
               of OPTION or OPTION=VALUE
  --reference FILE
               Reference sequence FASTA FILE [null]
  -@, --threads INT
               Number of additional threads to use [0]
```

マッピングデータをリファレンス配列上の位置順に並び替える

これをしないとindexを付けられない

BAM ファイルのソート

samtools sort *options...*

```
$ samtools sort eco_bowtie2.bam -o  
eco_bowtie2_sorted.bam
```

- samからの直接変換も可能（v1.3以降）

```
$ samtools sort eco_bowtie2.sam -o  
eco_bowtie2_sorted.bam
```

- ソートされたBAMファイルをSAMに変換してlessで表示

```
$ samtools view eco_bowtie2_sorted.bam | less
```

- 元のSAMファイルの表示と比較

```
$ less eco_bowtie2.sam
```

BAMファイルにインデックスを付ける

samtools index *options...*

- 先にソートされている必要がある
- インデックスは .bai という拡張子付きの別ファイルで生成される。
- 「bamファイル名.bai」が作成されたのを ls コマンドで確認

```
$ samtools index eco_bowtie2_sorted.bam
```

```
$ ls eco_bowtie2_sorted*
```

ここから先はソート & インデックス付与したbamファイルを使う

ソート & インデックス付与したbamファイルを使って

指定した領域内のマッピング結果を表示

```
$ samtools view eco_bowtie2_sorted.bam chr:200-500
```



染色体名:開始位置 - 終了位置

マッピング統計情報収集 1

samtools idxstats options...

- 染色体毎にマップされたリード数を得る

```
$ samtools idxstats eco_bowtie2_sorted.bam
```

染色体名	染色体配列長	マップされた リード数	片側のみマップさ れたリード数
chr	4639675	326754	0
*	0	0	3364

マップされなかったリード数
染色体名が '*' として表示される



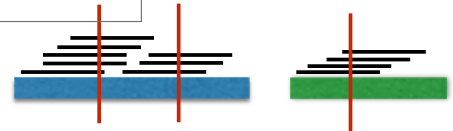
マッピング統計情報収集 2

samtools depth *options...*

- 深度(マップされた回数)の統計情報を得る

```
$ samtools depth eco_bowtie2_sorted.bam
```

染色体名	位置	深度(マップされた回数)
chr	2753929	1533
chr	2753930	1470
chr	2753931	1446
chr	2753932	1101
chr	2753933	922
chr	2753934	918



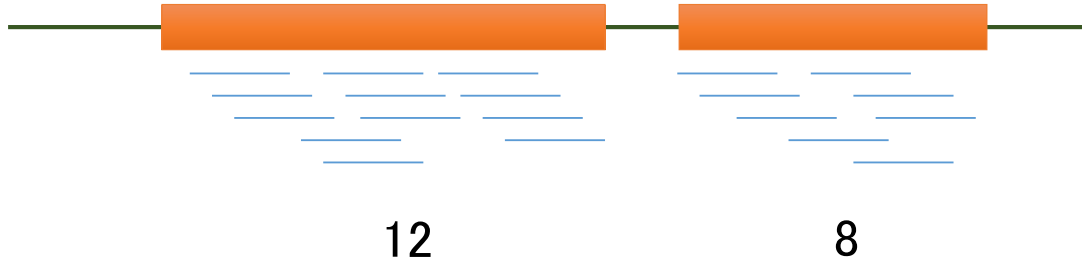
紹介したSamtools コマンドまとめ

samtools

view	リードを抽出, SAM/BAM変換
sort	ソート
index	.bamのインデックス作成
idxstats	染色体毎のマッピング状況
depth	位置毎のマッピング深度

RNA-Seq解析に向けて

- ゲノム上にマッピングされたリードを遺伝子領域ごとに集めて数をカウント



通常、カウントした数を遺伝子の長さ、およびマップされたリード全体の数で割って標準化する

RPKM (Read Per Kilobase per Million mapped reads)

FPKM (Fragment Per Kilobase per Million mapped reads)

統計解析を含めた内容は実践編にて。

HTSeq: SAM, BAM を処理するコマンド群

- マッピング結果を指定した領域ごとに集計するコマンド:

htseq-count

```
htseq-count -f マッピングファイルのフォーマット  
               マッピングファイル (SAM or BAM)   遺伝子ファイル (GFF or GTF)
```

- f フォーマット sam または bam (default: sam)

実習：HTSeq htseq-count

- 遺伝子情報ファイル `ecoli.gtf` を使って、各遺伝子にマッピングされたリード数をカウント

```
$ htseq-count eco bowtie2.sam ecoli.gtf > ecoli.htseq
```

- その他 htseq-count マニュアル

<http://www-huber.embl.de/HTSeq/doc/count.html>

今回使ったツール・ファイルのまとめ

SeqKit

ゲノム(リファレンス)配列 FASTAファイル

>chr
AGCTTTTCATCTTCGACGTCGAGCGGGCAATMGIGCT
CTGCTGCTGATTTAAAAAGCAAGTCGACATGACGAC
TTCCTACCTGCTTACCTGCGCTGACGATTAATTTAAA
TTTATTCGATCTTGGTACATTAATCTTATACCA
TTTACGCTTGTGCGACGACGATTAATAATTTACG
AGTCCACACATCTTCTGAACCGATTAACGACCC

インデックス作成

bowtie2-build

リファレンス配列へのマッピング

bowtie2

サンプルリード(ゲノム DNA/RNA)
FASTQファイル(配列+クオリティ)

```
@ERR151576_1 HWI-ST808:151:D2D1PACXX:2:1207:3625:88631 length=51  
ATGCGGGTGGGGCTCCAGCAATGTTGGGGGGGGAAGACAGACGGGGAGG  
+ERR151576_1 HWI-ST808:151:D2D1PACXX:2:1207:3625:88631 length=51  
@HD>DUEFF7DC7FFFFBF0F1CFE9AA6A9BFBEDC92A9B>S:  
CRRR151576_2 HWI-ST808:151:D2D1PACXX:2:1207:3817:88513 length=51  
CACCGGTTCGCTCATGCCGCTGCGGCAGCAGCATTCCGACATCCCCCCC  
+ERR151576_2 HWI-ST808:151:D2D1PACXX:2:1207:3817:88513 length=51  
CTCTGGTCTTGPHHHTGTCTTCTTCTTCTGCGCGCGCTCTGCTGCTGGGCTT
```

遺伝子アノテーション GFF(GTF)ファイル

```
chr RefSeq start_codon 190 192 1.000 + . gene_id "b00001"; transcript_id "b00001";
chr RefSeq CDS 190 252 1.000 + 0 gene_id "b00001"; transcript_id "b00001";
chr RefSeq stop_codon 253 255 1.000 + . gene_id "b00001"; transcript_id "b00001";
chr RefSeq exon 190 255 1.000 + . gene_id "b00001"; transcript>
```

遺伝子ごとの集計

htseq-count

b0001	11
b0002	117
b0003	36

マッピング結果 SAM ファイル



BAMファイル

並べ替え
検索
ゲノムブラウザへ

@ID	VM:1.0	SO:unsorted				
(SQ	Stchr	IN:4639675				
(RG	ID:bwtwie2	RN:bwtwie2	VM:2.2.4	CI:*bico/bin/bwtwie2-align		
SRRI515276.40	0 chr	4423609	42	51M	*	0
SRRI515276.158	16 chr	501700	42	51M	*	0
SRRI515276.212	4 *	0	0	*	*	0
SRRI515276.319	0 chr	2922768	42	51M	*	0
SRRI515276.367	16 chr	2753873	42	51M	*	0
SRRI515276.411	0 chr	3440721	42	51M	*	0
SRRI515276.434	0 chr	4198737	42	51M	*	0