

JTPF(仮称)とは？

- ✓ 地球型系外惑星検出を主サイエンスドライバーとして、さまざまな天文分野への応用を追求する日本のスペース将来計画
- ✓ 大別して2つのアーキテクチャーの可能性

可視光望遠鏡(HCST)

- 口径追求よりもクリーン、高コントラスト、安定したPSFを追求
- JWST, SPICA, HERSCHELの短波長(可視)化
 - ポストHST

赤外線干渉計(TBD)

- 恒星と惑星の明るさのコントラストが小さい中間赤外線を追求
- スペース赤外線ナル干渉計

JTPF: これまでの活動

- ✓ 2001.11: 宇宙科学シンポジウム
 - ✓ 系外惑星に関するの特別セッション開催
- ✓ 2001.12: TPF-Final Architecture Review参加
- ✓ 2002.4 ~ : JTPF技術検討会
- ✓ 2002.4 ~ : 系外惑星セミナー
 - ✓ 月一回, 20 ~ 40人程度の参加者
 - ✓ 理論と観測、天文と惑星科学の研究者・学生の間的重要な意見交換の場
- ✓ 2002 ~ : 天文台将来計画委員会のWGの一つ
- ✓ 2002.9: 宇宙研理学委員会のWGとして承認
- ✓ 2003.1: 光赤外将来計画検討スペース班のサブグループ
- ✓ 2003. : コナガラ勉強会 (毎月)

国際協力

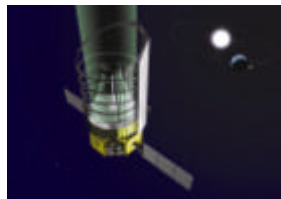
- ✓ IACGを通じた協力
 - ✓ Inter-Agency Consultative Group for Space Science
 - ✓ 日本側の系外惑星ミッションへの関心の意思は既に示されている
- ✓ NASA/TPF & ESA/Darwinとの協力
 - ✓ これら2つはR&D phaseにおける相互協力を約束済み
 - ✓ 日本側からのScience Working Groupへの加入を希望
 - ✓ 宇宙研を通じたLoAの締結が必要
 - ✓ 今秋の3機関統合後に交渉再開予定

HCST at a glance

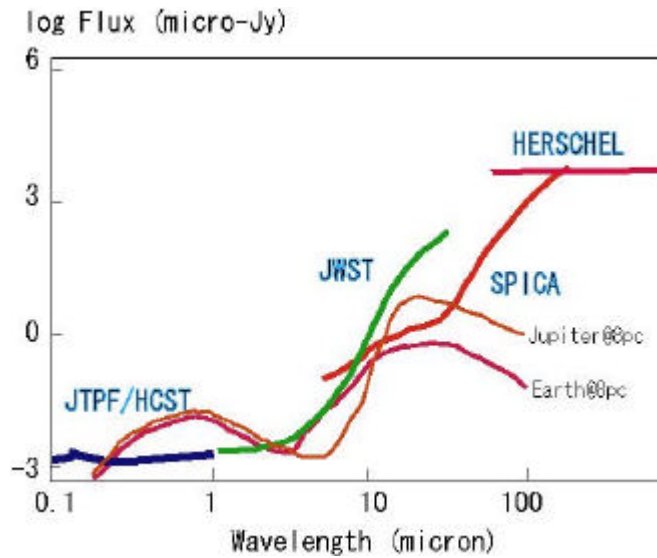
望遠鏡	3.5m 軸外し 単一鏡
波長	可視光・近赤外メイン、 紫外線・中間赤外もカバー
打上	~2015
寿命	10-15年
軌道	L2
装置	可視光コロナグラフ
	広視野可視光・近赤外カメラ
	TBD: 同分光器、紫外線装置

JWST/SPICA/HERSCHELとの比較

	JWST	SPICA	HERSCHEL	HCST
口径	6m	3.5m	3.5m	3.5m
最適波長	1-5 μm	5-200 μm	60-500 μm	0.1-1 μm
解像度	0.04-0.2"	0.4-14"	4-36"	0.007-0.07"
打上予定	2011	2010	2007	2015

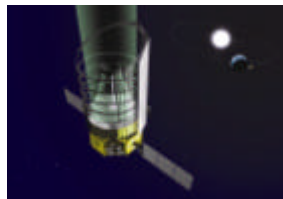


限界等級の比較図



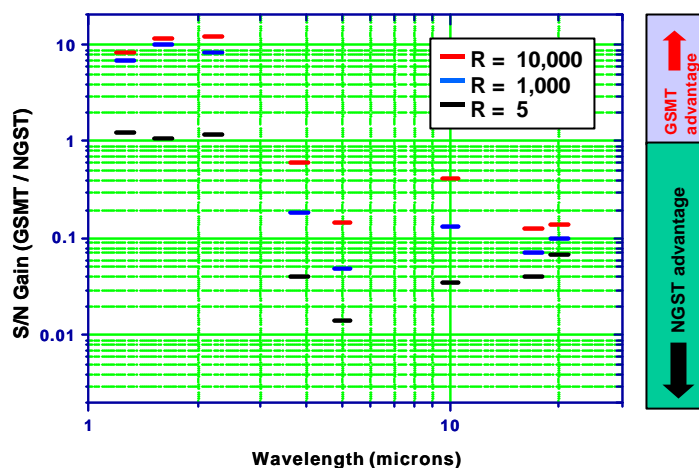
HST/Subaru/CELTとの比較

	HST	Subaru	CELT	HCST
口径	2.4m	8.1m	30m	3.5m
波長範囲	0.1-2.5 μ m	0.35-25 μ m	0.3-25 μ m	0.1-1 μ m
解像度	> ~0.1"	0.6" AO ~0.06"	0.6"? AO ~0.02"	0.007-0.07"
視野	~3'	~30'	~20'?	>5'



参考: CELT vs. JWST

Assuming a detected S/N of 10 for NGST on a point source, with 4x1000s integration



HCSTのたたき台

✓ 波長の選択

✓ 可視光で最適化

- ✓ JWST (~6m; 近赤外), SPICA (3.5m; 中間・遠赤外), HERSCHEL (3.5m; 370ミリ) と相補的であるべし

✓ 惑星からの反射光を狙う

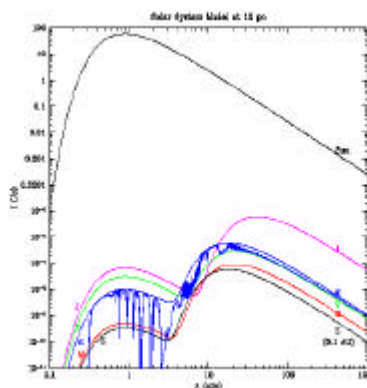
- ✓ 5 μm 以下では熱放射は効かない

✓ 0.1-5 μm

- ✓ 紫外線天文学への応用
- ✓ 近赤外波長域も考慮

✓ 1-10 AU @ 10 pc

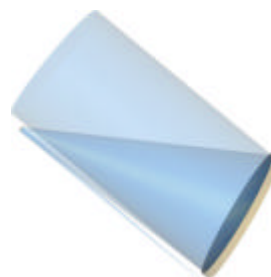
- ✓ 3-90 /D @ 0.5 μm
- ✓ コナクワの種類によっては1 /D まで狙える



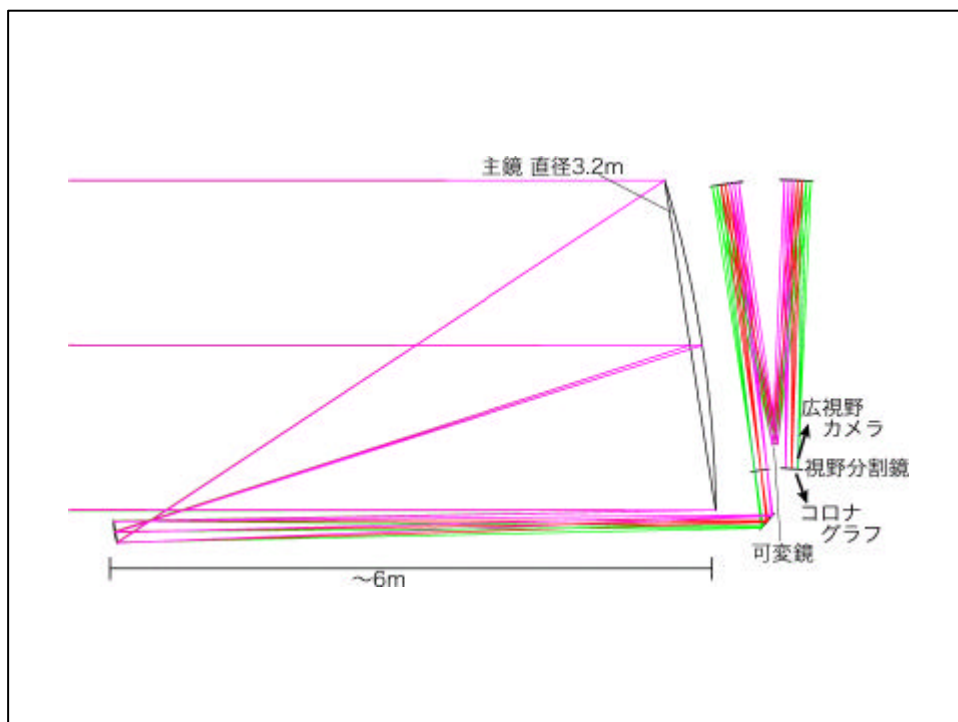
HCSTのたたき台：望遠鏡

スペース クラフト	望遠鏡	波面補 償光学	観測 装置
--------------	-----	------------	----------

- ✓ 望遠鏡 口径 約3.5m
 - ✓ 解像度： $\lambda/D=30$ mas @0.5 μ m
 - ✓ 感度：30 mag (10000 sec, 10) @0.5 μ m
 - ✓ 問題は感度・解像度よりも高コントラスト
 - ✓ 本来は8m級が必要だが、近傍の星のまわりの地球型惑星検出と比較的遠方の木星型惑星の観測に限定



光線図
F61 by 長嶋



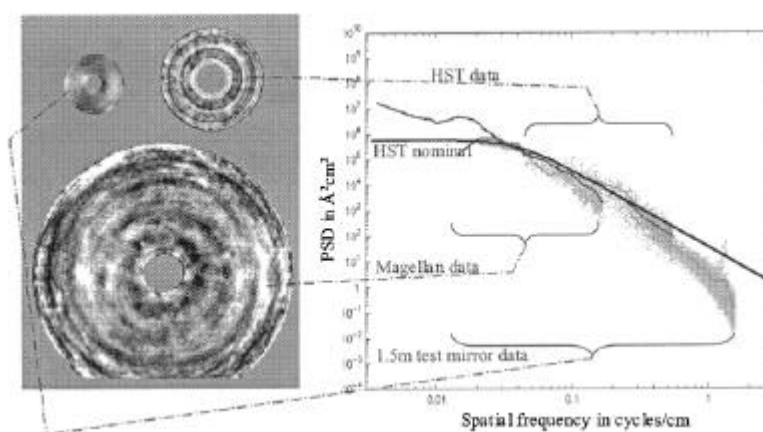
HCSTのたたき台：望遠鏡

- ✓ 望遠鏡 口径 約3.5m (続)
- ✓ 軽量一枚鏡 ($\sim 25\text{kg/m}^2$)、かつ、off-axisが望ましい
 - ✓ NGSTのようなsegmentに比べ、clean PSFを狙う
 - ✓ HERSCHEL- \rightarrow SPICAに続く、3.5mクラス一枚鏡の短波長化と位置付ける
 - ✓ λ^2 -ス展開鏡はその次の段階とみなし、一枚鏡で追求してみたい
- ✓ 鏡面誤差： $\sim 5\text{nm}$ at 特定空間周波数 (2cm-50cm, csf)
 - ✓ $0.2\text{-}5''$ @ $\lambda = 0.5\ \mu\text{m}$ の領域に対応
- ✓ 中心2m程度を超研磨?



ファイリング中のレイアウト案

既存の鏡と波面誤差

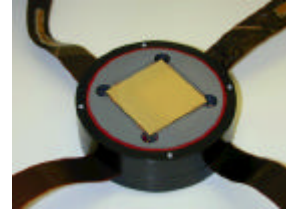


鏡面精度では、15 nm (HST) - 24 nm (Magellan) レベル

HCSTのたたき台：AOとコロナグラフ

✓波面検出・制御

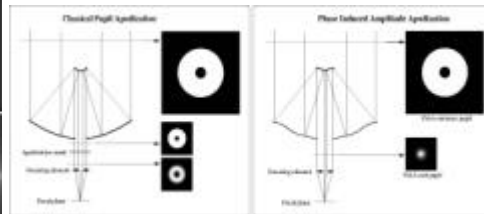
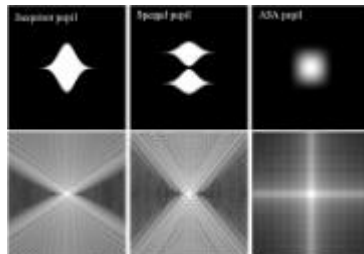
- ✓ $<0.1\text{nm}$ @csf
- ✓ 望遠鏡鏡面誤差低減
- ✓ 50x50素子以上程度の可変鏡を利用



Xinetics 42x42 DM

✓特殊コロナグラフ

- ✓ Lyot (classical), Spergel, ASA (Apodized Square Aperture), PIAA (Phase-Induced Amplitude Apodization)
- ✓ 方法は色々ある



コロナグラフで大事なこと

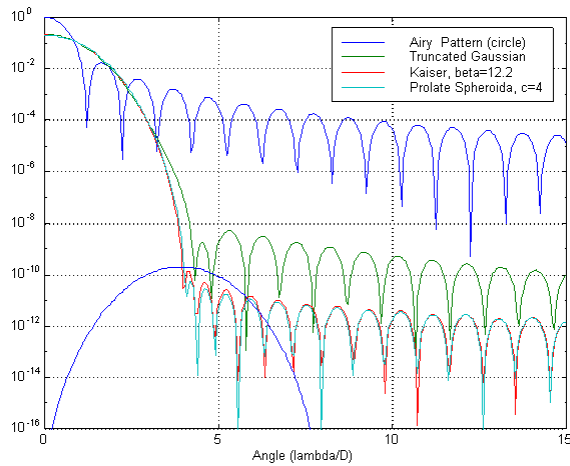
- ✓ 小さな λ/D
- ✓ 障害物の無い視野
- ✓ 高いストレール比
- ✓ 小さな散乱
- ✓ クリーンで安定したPSF
- ✓ 複数のコロナグラフの実現



JWSTのPSF

- ✓ ある程度、コロナグラフ装置と望遠鏡とを一体化した設計が必要

高コントラストPSFの例



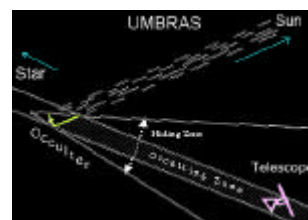
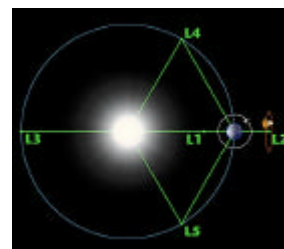
円形：
エアリー
パターン

回転楕円体

惑星検出に必要な 10^{10} のコントラストを達成できる

HCST: 打上・軌道・装置

- ✓ 打上 HIIA
- ✓ 軌道 L2またはEarth-trailing
- ✓ 観測装置
 - ✓ 可視光コロナグラフ装置（撮像・分光）
 - ✓ 視野約 $1'$
 - ✓ 広視野可視光・近赤外装置（撮像・分光）
 - ✓ 視野約 $5'$ 以上
 - ✓ どこまで広げられるか、検討中
 - ✓ 紫外線装置
 - ✓ 視野 TBD
- ✓ オプション
 - ✓ 第2の衛星を利用した掩蔽観測？
 - ✓ formation flight technology
 - ✓ $>1\text{m}$ スクリーン @ $>1000\text{km}$



HCST: コストとサイエンス

✓ コスト

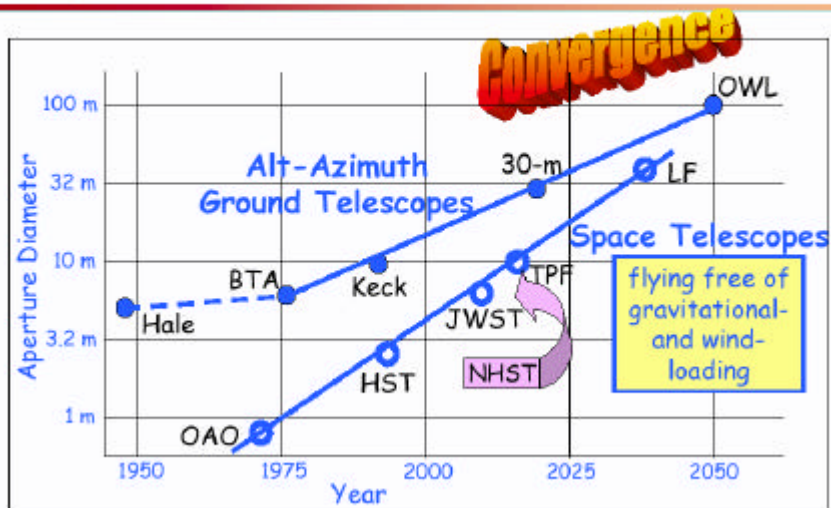
- ✓ 約500億円目標？
 - ✓ 望遠鏡300億、装置100億、ロケット100億

✓ 系外惑星探査以外にも豊富なサイエンス

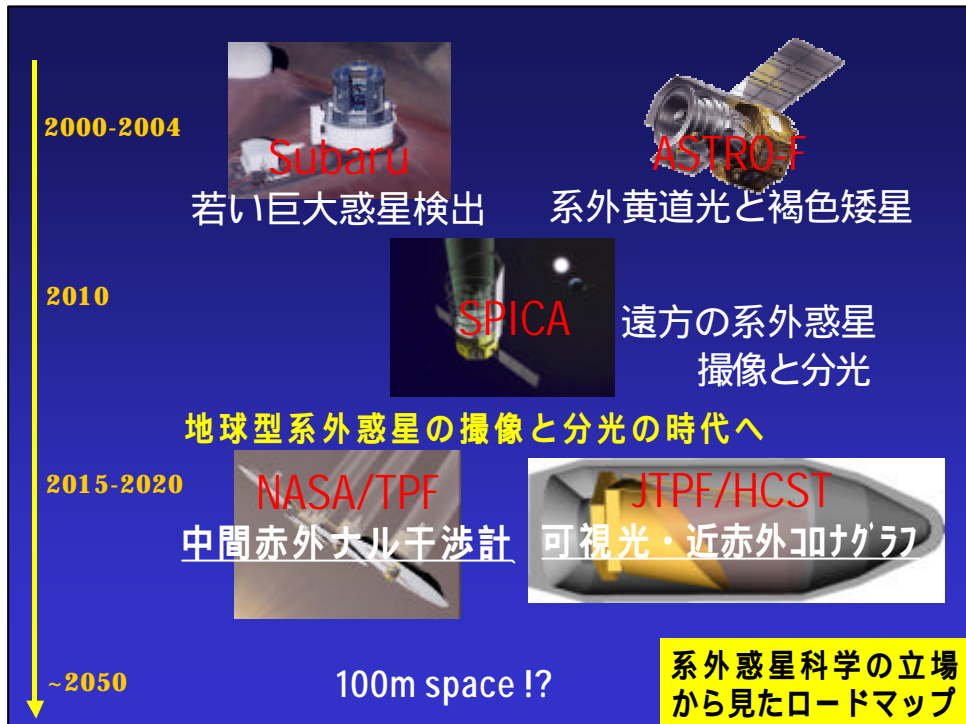
- ✓ 9桁以上の高コントラストを生かしたもの
 - ✓ 銀河系内：褐色矮星の砂漠、晩期型星の質量放出・非対称性、若い星の星周構造
 - ✓ 系外銀河：クエーサー母銀河、スターバースト銀河核周、AGN核周、重力レンズ
- ✓ 広視野・0.1秒角・30等の撮像（分光）能力を生かしたもの
 - ✓ 初期宇宙天体（First Object）の検出
 - ✓ 宇宙で最も古い銀河の探査
 - ✓ 広視野での形態・恒星質量マッピング
 - ✓ 銀河の内部構造の進化の解明



Space Optics will Eventually be Larger than Ground Optics



by Stive Kilston



スペース班

- | | |
|-------------------|----------------------------------|
| 市川 隆 (SPICA) | 土居 守 (SPICA) |
| 犬塚修一郎 (JTPF) | 中島 紀 (JASMINE、JTPF) |
| 今西昌俊 (SPICA) | 長嶋千恵 (SPICA、JTPF) |
| 上田誠治 (JASMINE) | 西 亮一 (SPICA、JASMINE) |
| 上野宗孝 (SPICA、JTPF) | 西川 淳 (干渉計、コロナ) |
| 海老塚昇 (SPICA、コロナ) | 馬場直志 (干渉計、コロナ) |
| 岡本美子 (SPICA) | 深川美里 (SPICA、コロナ) |
| 尾中 敬 (SPICA、JTPF) | 松原英雄 (SPICA、JASMINE、干渉計) |
| 片ざ宏一 (SPICA、JTPF) | 森野潤一 (SPICA、コロナ) |
| 栗田光樹夫 (JTPF、他?) | 村上 浩 (SPICA、JTPF) |
| 小久保英一郎 (JTPF、他?) | 矢野太平 (JASMINE) |
| 郷田直輝 (JASMINE) | 山田良透 (JASMINE) |
| 小谷隆行 (JTPF) | 山村一誠 (SPICA) |
| 小林行泰 (JASMINE) | Olivier Guyon (SPICA、コロナ、スペースAO) |
| 芝井 広 (SPICA、JTPF) | 新規加入者随時歓迎 |
| 須佐 元 (SPICA) | |
| 高見秀樹 (スペースAO全般) | 中川貴雄 (世話人、SPICA、JTPF) |
| 辻本拓司 (JASMINE) | 田村元秀 (世話人、SPICA、コロナ) |
| 常田佐久 (SPICA、他?) | 山田 亨 (世話人、SPICA、コロナ) |

以下議論のサマリ： スペース班のまとめ

- ✓ それぞれのサブグループでの検討が進んでいる
- ✓ SPICA
 - ✓ 本体の検討は急速に進んでいる
 - ✓ 装置検討の遅れ（サイエンスからの仕様要求が必要）
 - ✓ 研究会を早期に開催（サイエンス班のヘルプお願い）
- ✓ JASMINE
 - ✓ 計画書の初版が完成
 - ✓ R&Dの具体化や小衛星実験も進行中
- ✓ JTPF
 - ✓ HCSTの検討・たたき台の作成
 - ✓ 系外惑星科学の裾野を広げる努力

次期可視光・赤外スペースに 関する議論点

- ✓ 一般論：次期スペースに求められるもの（8/21）
 - ✓ 装置側から見て（次のトラペ）
 - ✓ サイエンス側からの希望のまとめ
- ✓ 光赤外コミュニティーとSPICA/JASMINE/JTPF（8/21）
- ✓ 天文台とSPICA/JASMINE/JTPF（8/22）
- ✓ 天か地か 天も地も（8/22）

次期可視光・赤外スペースに 期待される機能(装置の立場から)

高コントラスト可視光・近赤外観測	1. HCST
広視野回折限界可視光・近赤外撮像	2. HCST
高感度紫外線分光	3. HCST
高解像度中間～遠赤外線観測	4. SPICA
高精度アストロメトリ	5. JASMINE
高精度測光	6. ---
長期間モニタ	7. ---
偏光	8. 地上?
小さな(専用)ミッションの可能性	

次期可視光・赤外スペースに 期待される機能(サイエンスから)

- ✓ 高コントラスト可視光観測
 - ✓ 系外惑星、主星から1AUのところにあるもの
 - ✓ AGN、クエーサー母銀河
- ✓ 広視野回折限界可視光撮像
 - ✓ 銀河団・銀河形成
 - ✓ 銀河ハローを星に分解
 - ✓ 面分光機能も欲しい
- ✓ 高感度紫外線分光
 - ✓ 進展が遅い今が狙い目、今後の展開への基礎
- ✓ 高解像度中間～遠赤外線観測
 - ✓ very high-z objects
 - ✓ 晩期型星の質量放出：スペース干渉計が欲しい

天文台とSPICA/JASMINE/JTPF

- ✓ 天文台でもスペースミッションへの参加・推進体制を作ること
 - ✓ 国立天文台光赤外次期スペースAプロジェクト室、あるいは、各プロジェクト別の準備室の立ち上げ
- ✓ 宇宙研・大学との交流を広げること
 - ✓ サイエンス、装置開発、望遠鏡の得意な部分
- ✓ 広いコミュニティを巻き込むことのできるスペースプロジェクトの進め方