

気候システムⅡ

村上茂教

2020 年度前期

目次

第 1 章	大気大循環のエネルギー論	1
1.1	大気的全位置エネルギーと有効位置エネルギー	2
1.1.1	大気的全位置エネルギーとエンタルピー	3
1.1.2	有効位置エネルギー	4
1.2	有効位置エネルギーと運動エネルギーの収支方程式	6
1.2.1	有効位置エネルギーとその時間変化率	6
1.2.2	運動エネルギーとその時間変化率	8
1.3	ローレンツエネルギーサイクル	9
1.3.1	平均場のエネルギーと擾乱のエネルギー	10
1.3.2	帯状有効位置エネルギーの収支方程式	10
1.3.3	擾乱有効位置エネルギーの収支方程式	12
1.3.4	帯状平均運動エネルギーの収支方程式	13
1.3.5	擾乱 (渦) 運動エネルギーの収支方程式	14
1.3.6	ローレンツダイアグラム	15
1.4	大気大循環とローレンツエネルギーサイクル	15
1.4.1	ハドレー循環、順圧不安定、傾圧不安定とエネルギーサイクル	15
1.4.2	傾圧不安定波のライフサイクルとエネルギーサイクル	18
第 2 章	定常ロスビー波の力学	21
2.1	ロスビー波に関する基礎事項	21
2.1.1	対数気圧座標における準地衡風方程式系の表現	21
2.1.2	準地衡風渦位方程式とその線型化方程式	22
2.1.3	典型的ロスビー波の分散関係、位相速度、群速度	23
2.1.4	典型的ロスビー波の熱・運動量・エネルギーの南北フラックス	25
2.2	定常ロスビー波の鉛直伝播	27
2.2.1	典型的定常ロスビー波の鉛直伝播	27
2.2.2	定常ロスビー波の鉛直伝播と南北熱輸送	29
2.3	順圧定常ロスビー波の水平伝播	30
2.3.1	地形による定常ロスビー波の励起	30
2.3.2	順圧定常ロスビー波の 2 次元伝播	33
2.3.3	Ray tracing の方法	36
2.3.4	球面上の伝播	42
第 3 章	波と帯状平均流の相互作用	45
3.1	重力波の場合 (Eliassen-Palm の定理)	45
3.1.1	内部重力波	46

3.1.2	内部重力波のエネルギー論	49
3.1.3	Eliassen-Palm の定理	52
3.1.4	臨界高度 (critical level) における平均流加速	56
3.2	準地衡方程式系 (ロスビー波) の場合 (Charney-Drazin の定理)	59
3.2.1	準地衡風方程式系におけるエネルギー論	59
3.2.2	ロスビー波のエネルギーフラックス	61
3.2.3	Taylor-Bretherton の恒等式	64
3.2.4	Charney-Drazin の定理	64
3.2.5	Eliassen-Palm フラックス	67
3.3	平均子午面循環と TEM 方程式系	69
3.3.1	中緯度における平均子午面循環	69
3.3.2	変形 Euler 平均 (TEM) 方程式	74
3.4	E-P フラックスの実際	77
3.5	波動平均流相互作用に基づく中層大気循環の理解	80
3.5.1	準 2 年振動の発生機構	80
3.5.2	成層圏突然昇温のメカニズム	81
第 4 章	波動平均流相互作用の 3 次元の様相	83
4.1	E-P フラックスの 3 次元への拡張	83
4.2	Plumb(1985) の波活動度フラックス	83
4.3	東西非一様基本場におけるロスビー波の分散関係と群速度	85
4.4	Plumb(1986) の波活動度フラックス	87
4.5	東西非一様な基本場におけるロスビー波のエネルギーフラックス	89
4.6	高谷・中村の波活動度フラックス	90
4.7	その他の拡張	91
4.8	波活動度フラックスの具体例	91
4.8.1	2004 年暑夏	91
4.8.2	2005 年豪雪	92
4.8.3	2002 年 1 月暖冬	94
第 5 章	熱帯大気の力学	95
5.1	熱帯大気の特徴	95
5.2	熱帯大気の 2 層モデル	95
5.3	自由な赤道波	97
5.3.1	混合ロスビー重力波	100
5.3.2	赤道ロスビー波 (と慣性重力波)	101
5.3.3	赤道ケルビン波	101
5.4	熱帯大気の熱源に対する定常応答 (松野・ギル応答)	103
5.4.1	問題設定と長波近似	103
5.4.2	定常応答の基本方程式の解法	105
5.4.3	非断熱加熱項	106
5.4.4	赤道対称な応答、その 1 (ケルビン応答)	106
5.4.5	赤道対称な応答、その 2 (ロスビー応答)	108

5.4.6	赤道対称な熱源に対する全応答	109
5.4.7	赤道反対称な強制	111
5.4.8	北半球側に非断熱加熱源がずれた応答	113
5.5	熱帯から中高緯度への影響伝播	114
第 6 章	大気海洋相互作用の力学	117
6.1	海洋の赤道波の基礎方程式	117
6.2	海洋の自由な赤道波	120
6.3	急速な西風への赤道海洋の応答	121
6.3.1	急速な西風への海洋ケルビン波の応答	123
6.3.2	急速な西風へのロスビー波の応答	126
6.3.3	境界波としてのケルビン波	128
6.3.4	赤道ケルビン波、ロスビー波の反射	129
6.4	数値シミュレーションされたケルビン波、ロスビー波の伝搬	130
6.5	ENSO の力学的理解	131
6.5.1	ENSO に対する遅延振動子理論	131
6.5.2	再充填－放出振動メカニズム	133